

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ О.П. Гапонова
«__» _____ 2020 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

Тема: «Дослідження властивостей сталі 12Х18Н9Т після нанесення захисних нітридних покриттів»

Студент гр. МТ.м-91 _____

Вареник С.В.

Керівник _____

Говорун Т. П.

Консультант
з економічної частини _____

Берладір Х.В.

Консультант
з охорони праці _____

Говорун Т. П.

Нормоконтроль _____

Дегула А.І.

Суми 2020

□

Сумський державний університет
Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
Кафедра «Прикладне матеріалознавство та технології конструкційних
матеріалів»
зі спеціальності 132 «Матеріалознавство»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ О.П. Гапонова

«__» _____ 2020 року

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Варенику С.В.

1. Тема проекту
(роботи) _____

_____ затверджена
наказом по університету від “__” _____ 20__ р. №__

2. Термін здачі студентом закінченого проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти з проекту (роботи), із значенням розділів проекту, що їх стосуються

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці			
Економічна частина			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пор.	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка

7. Дата видачі завдання _____

Студент _____

(підпис)

Керівник проекту _____

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Вареник Сергій Володимирович. Дослідження властивостей сталі 12X18H9T після нанесення захисних нітридних покриттів. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності 132 – Матеріалознавство. – Сумський державний університет, Суми, 2020.

В роботі проведено дослідження властивостей сталі 12X18H9T після нанесення захисних нітридних покриттів методом магнетронного напилення.

Проведені дослідження показали, що попередня іонна обробка сталеві підкладки істотно впливає на структуру і механічні властивості покриттів TiAlN. Бомбардування підкладки іонами Ti призводить до модифікації її поверхневого шару і формування на ній тонкої плівки Ti, яка трансформується в TiN після заповнення робочої камери азотом. Утворення даної плівки, а також істотне підвищення температури підкладки після її іонної обробки викликають збільшення дифузійної рухливості атомів і сприяють епітаксійних росту стовпчастих зерен з прямими межами.

Зміна характеру зростання призводить не тільки до зміни структури покриттів, але і до релаксації в них внутрішніх напружень. Це забезпечує підвищення твердості покриттів TiAlN в 1,3 рази в порівнянні з покриттями, нанесеними на необроблену підкладку.

Ключові слова: СТАЛЬ 12X18H9T, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ВІДПАЛ, АУСТЕНІЗАЦІЯ, МАГНЕТРОННЕ НАПИЛЕННЯ, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

ABSTRACT

Varenik Serhiy Volodymyrovych. Investigation of the properties of steel 12X18H9T after application of protective nitride coatings. – The manuscript.

Qualifying paper for obtaining the qualification of a master's degree in the specialty 132 – Materials science. – Sumy State University, Sumy, 2020.

The properties of steel 12X18H9T after application of protective nitride coatings by magnetron sputtering were investigated.

The study results showed that the pre-ionic treatment of the steel substrate significantly affects the structure and mechanical properties of TiAlN coatings. The bombardment of the substrate with Ti ions leads to modifying its surface layer and forming a thin film of Ti, which is transformed into TiN after filling the working chamber with nitrogen. The formation of this film and a significant increase in the substrate's temperature after its ionic treatment cause an increase in the diffusion mobility of adatoms and promote epitaxial growth of columnar grains with straight boundaries.

Changing the nature of growth leads to a change in the coatings' structure and the relaxation of their internal stresses. It provides an increase in the hardness of TiAlN coatings by 1.3 times compared to coatings applied to the untreated substrate.

Keywords: STEEL 12X18H9T, HEAT TREATMENT, ANNEALING, AUSTENIZATION, MAGNETRONIC SPUTTERING, MICROHARDNESS, WEAR RESISTANCE.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра включає 92 сторінки, у тому числі 10 рисунків, 12 таблиць, бібліографії із 98 джерел на 10 сторінках.

Мета роботи полягає в покращенні властивостей сталі 12Х18Н9Т при нанесенні покриттів TiAlN шляхом магнетронного розпилення та виявлення закономірностей їх формування, а також дослідження атомно-кристалічної структури, фазового складу та мікротвердості цих покриттів.

Об'єкт дослідження – структура та механічні властивості конструкційної сталі 12Х18Н9Т після процесу нанесення зміцнюючих покриттів TiAlN методом магнетронного розпилення.

Предмет дослідження – досліджувані зразки конструкційної, нержавіючої, корозійностійкої сталі 12Х18Н9Т з покриттям із TiAlN.

Методи дослідження. При виконанні кваліфікаційної роботи магістра були використані наступні методи: рентгенографічний, оптична і електронна мікроскопія для дослідження мікроструктури отриманих зразків і покриттів, атомно-силового мікроскопія, вимірювання твердості за Бринелем, Роквеллом та мікротвердості.

Наукова новизна отриманих результатів. Показано, що попереднє бомбардування підкладки зі сталі 12Х18Н9Т іонами Ti істотно впливає на структуру і механічні властивості покриттів TiAlN, бо призводить до модифікації її поверхневого шару і формування на ній тонкої плівки Ti, яка трансформується в TiN після заповнення робочої камери азотом. Іонна обробка підкладки викликає збільшення дифузійної рухливості атомів і сприяє епітаксійному росту стовпчастих зерен з прямими межами. Підтверджено, що попереднє бомбардування іонами Ti призводить не тільки до зміни структури покриттів, а й забезпечує підвищення твердості покриттів TiAlN в 1,3 рази в порівнянні з покриттями, нанесеними на необроблену підкладку.

Ключові слова: СТАЛЬ 12Х18Н9Т, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА, ВІДПАЛ, АУСТЕНІЗАЦІЯ, МАГНЕТРОННЕ НАПИЛЕННЯ, МІКРОТВЕРДІСТЬ, ЗНОСОСТІЙКІСТЬ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	9
ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ.....	15
1.1 Підвищення довговічності виробів із нержавіючих та корозійностійких сталей.....	15
1.2 Покращення властивостей сталі 12Х18Н9Т методом нанесення зміцнюючих нітридних покриттів.....	24
Висновки.....	29
РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	30
2.1 Характеристика сталі 12Х18Н9Т.....	30
2.2 Вплив легувальних елементів на властивості матеріалу.....	32
2. Вибір методів дослідження і їх характеристика	34
Висновки.....	39
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ.....	40
3.1 Характеристика процесу магнетронного нанесення покриттів..	40
3.2 Переваги й недоліки магнетронного напилення на установці ВУП-5М.....	42
3.3 Попередня термічна обробка сталі 12Х18Н9Т.....	44
3.4 Експериментальні дослідження при нанесенні покриттів.....	47
3.5 Аналіз результатів і їх обговорення.....	55
Висновки.....	58
РОЗДІЛ 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	59
4.1 Економічні аспекти діяльності підприємства.....	59
4.2 Розрахунок вартості процесу нанесення покриттів.....	62
Висновки.....	66

РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ.....	67
5.1 Основні положення з охорони праці.....	67
5.2 Техніка безпеки при термічній обробці металів.....	69
5.3 Вимоги до персоналу термічних цехів.....	70
5.4 Вимоги до застосування засобів індивідуального захисту.....	71
5.5 Техніка безпеки при проведенні процесу магнетронного напилення.....	73
5.5.1 Пожежна безпека.....	73
5.5.2 Електробезпека.....	74
5.5.3 Міри безпеки при роботі з газовими балонами.....	76
5.6 Охорона навколишнього середовища.....	77
Висновки.....	80
ВИСНОВКИ.....	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	83

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ТО – термічна обробка;

$\sigma_{0,2}$ – межа текучості умовна, МПа;

σ_B – межа міцності при розтягу, МПа;

δ – відносне подовження при розриві, %;

ψ – відносне звуження, %;

КСУ – ударна в'язкість, Дж/м²;

НРС – твердість за Роквелом, шкала С;

НВ – твердість за Бринелем;

хв. – хвилини;

грн. – гривні;

σ_{-1} – межа витривалості при випробуванні на вигин із симетричним циклом навантаження, МПа;

РФА – рентгенофазовий аналіз.

ВСТУП

Актуальність роботи. Фізичні методи отримання покриттів у вакуумі (PVD) – найбільш поширені процеси модифікації поверхні. Вони засновані на взаємодії іонів, макро- і атомних частинок, отриманих в низькотемпературній плазмі, з поверхнею твердого тіла. Результатом взаємодії потоку частинок в розрідженому середовищі з поверхнею є покриття або змінена структура поверхні. Це дає можливість отримувати покриття різного складу, проводити іонне очищення і полірування поверхні, травлення і формування прецизійних топологічних рисунків у виробництві напівпровідникових приладів та мікросхем, резисторів, фотошаблонів і іншого. Сфера застосування вакуумно-дугових технологій поширюється і на інші області техніки, наприклад оптику і машинобудування, де вони використовуються для отримання полірованих поверхонь, зміцнення інструменту, захисту поверхонь зносо- і корозійностійкими покриттями, створення декоративних покриттів і інше.

Одним із PVD методів отримання покриттів є магнетронне розпилення. Нанесення покриттів у вакуумі за допомогою магнетронних систем полягає в розпиленні твердої мішені напилюваного матеріалу іонами інертного газу, що утворюються в плазмі аномального тліючого розряду при накладенні на нього магнітного поля, силові лінії якого ортогонально перетинають силові лінії магнітного поля.

Метод магнетронного розпилення широко застосовується для нанесення як різних промислово значущих покриттів, таких як декоративні, зносостійкі або захисні покриття товщиною кілька мікрометрів, так і для отримання складних, багат шарових оптичних конструкцій з товщиною шарів в кілька десятків нанометрів або електропровідних покриттів, властивості і структури яких магнетронні системи розпилення дозволяють задавати і варіювати в необхідних діапазонах.

Магнетронне розпилення характеризується високою повторюваністю і стабільністю осаджених покриттів, як по швидкості розпилення, так і за характеристиками одержуваних покриттів. Ця особливість магнетронних

систем, на відміну, наприклад, від електронно-променевого випаровування, при добре підібраних і поставлених режимах нанесення окремих шарів, дозволяє отримувати досить складні багатошарові оптичні конструкції без систем контролю товщини осажденного покриття. Крім цього, одержувані покриття володіють низькими внутрішніми напруженнями, що є істотним чинником при осадженні покриття на тонкі полімерні підкладки або скляні вироби, де потрібно зберегти високу якість оптичної поверхні. Завдяки високим енергетичній ефективності і ступеню іонізації магнетронне розпилення дозволяє домогтися отримання «щільних» шарів речовини, наприклад оксидів з високим показником заломлення, на холодній підкладці, що має істотне значення для матеріалів підкладок, які не допускають нагрівання.

Найчастіше вищевказаним методом отримують покриття на основі тугоплавких металів і їх з'єднань з азотом, киснем, вуглецем. Даний метод використовують для отримання покриттів на основі нітридів і карбонітридів металів Ti, Al, Hf, Mo, Zr та інших. Серед них найбільш широке поширення знайшли покриття на основі системи Ti-N та Ti-Al-N.

Це пов'язано, перш за все, з досить хорошим поєднанням фізико-механічних властивостей і відносно невисокою вартістю компонентів покриття титану та алюмінію. Основними параметрами отримання нітридних покриттів методом магнетронного розпилення, які визначають властивості кінцевого продукту, є струм дуги, потенціал зсуву, тиску інертного і реакційного газів, матеріал підкладки, температура підкладки, час конденсації і тип установки.

Вони задають склад титан-алюміній-азотної низькотемпературної плазми (електрони, атоми, молекули, іони різної зарядності і мікрочастки ерозії катода), який характеризується нерівномірним просторовим розподілом. Відповідно до цього, важливим параметром, що визначає фізико-механічні властивості систем покриттів Ti-N та Ti-Al-N, є також геометрія розташування зразків у вакуумній камері щодо поверхні катода.

Мета роботи полягає в покращенні властивостей сталі 12X18H9T при нанесенні покриттів TiAlN шляхом магнетронного розпилення та виявлення

закономірностей їх формування, а також дослідження атомно-кристалічної структури, фазового складу та мікротвердості цих покриттів.

Для досягнення вище сказаної мети треба вирішити такі **завдання дослідження**:

- провести літературно-патентний огляд методів підвищення властивостей і характеристик сталі 12Х18Н9Т;

- отримати покриття TiAlN на сталевих підкладках і дослідити фазовий склад та мікроструктуру поверхні сталі 12Х18Н9Т, модифікованої покриттями TiAlN при застосуванні методу магнетронного розпилення на установці ВУП-5М;

- визначити параметри решітки та твердість покриттів основі Ti, Al і N;

- проаналізувати перспективність нанесення зміцнюючих покриттів TiAlN на сталь 12Х18Н9Т та надати рекомендації щодо їх застосування з метою покращення властивостей і характеристик.

Об'єкт дослідження – структура та механічні властивості конструкційної сталі 12Х18Н9Т після процесу нанесення зміцнюючих покриттів TiAlN методом магнетронного розпилення.

Предмет дослідження – досліджувані зразки конструкційної, нержавіючої, корозійностійкої сталі 12Х18Н9Т з покриттям із TiAlN.

Методи дослідження. При виконанні кваліфікаційної роботи магістра були використані наступні методи: рентгенографічний, оптична і електронна мікроскопія для дослідження мікроструктури отриманих зразків і покриттів, атомно-силова мікроскопія, вимірювання твердості за Бринелем, Роквеллом та мікротвердості.

Корозійностійкі сталі, у тому числі і сталь аустенітного класу 12Х18Н9Т, відносяться до конструкційних матеріалів, що мають широке застосування у різних галузях промисловості: атомній енергетиці, хімічній, та нафтохімічній промисловості, виробках для біомедицини тощо. Це обумовлено гарною пластичністю, зварювальними характеристиками і високим опором до корозії. Але через низьку твердість, що обумовлює також і незадовільну зносостійкість, суттєво зменшується область можливого застосування цих матеріалів.

Підвищенням зносостійкості поверхневих шарів сталі 12Х18Н9Т без впливу на корозійну стійкість основи появляється можливість до покращення досліджуваного матеріалу і отримання комплексу високих вказаних властивостей і характеристик. Дослідження в цьому напрямку мають досить обмежений характер. Саме тому вирішення цього питання є актуальним.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Вперше досліджено залежність фазового складу та атомно-кристалічної структури покриттів TiAlN від попередньої іонної обробки сталеві підкладки із 12Х18Н9Т.

2. Визначено значення мікротвердості, фазовий склад та вивчено структуру отриманих покриттів TiAlN.

3. Показано, що попереднє бомбардування підкладки зі сталі 12Х18Н9Т іонами Ti істотно впливає на структуру і механічні властивості покриттів TiAlN, бо призводить до модифікації її поверхневого шару і формування на ній тонкої плівки Ti, яка трансформується в TiN після заповнення робочої камери азотом.

4. Зміна характеру зростання покриттів призводить до зміни їх структури і до релаксації в них внутрішніх напружень. Іонна обробка підкладки викликає збільшення дифузійної рухливості атомів і сприяє епітаксійному росту стовпчастих зерен з прямими межами.

5. Підтверджено, що попереднє бомбардування іонами Ti призводить не тільки до зміни структури покриттів, а й забезпечує підвищення твердості покриттів TiAlN в 1,3 рази в порівнянні з покриттями, нанесеними на необроблену підкладку.

6. Нанесення зносостійких покриттів TiAlN методом магнетронного розпилення на поверхню сталі 12Х18Н9Т призводить до її зміцнення.

Особистий внесок здобувача. Автор самостійно провів аналіз літературних джерел, виконав постановку завдання та визначив мету дослідження, виготовив зразки, під керівництвом провів металографічні дослідження, визначив твердість, мікротвердість і міцність досліджуваних зразків, самостійно виконав інтерпретацію та узагальнення отриманих

результатів, сформулював наукові положення і висновки, оформив текст роботи.

Апробація роботи. Вареник С.В., Говорун Т.П. Покращення властивостей сталі 12Х18Н9ТЛ методом нанесення захисних нітридних покриттів // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма VII Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 21–24 квітня 2020 р.) / редкол.: О. Г. Гусак, І. В. Павленко. – Суми : Сумський державний університет, 2020. – С. 108.

Публікації. Тези конференції.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, п'яти розділів, списку використаних джерел. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 92 сторінки, у тому числі 12 таблиць, 10 рисунків, бібліографії із 98 літературних джерел на 10 сторінках.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1.1 Підвищення довговічності виробів із нержавіючих та корозійностійких сталей

Основними споживачами корозійностійких високолегованих сталей та сплавів є: хімічна, нафтохімічна та авіаційна промисловість, а також теплова та атомна енергетика, суднобудування. Використання дорогих конструкційних матеріалів в цих галузях обумовлена експлуатацією деталей в агресивних середовищах розчинів електролітів на основі солей, кислот, газові суміші, газопарові середовища.

Для усунення та призупинення процесів на межі середовище-зерно, котрі негативно впливають на працездатність матеріалів, використовують поверхневі дифузійні покриття. У цьому випадку основний метал забезпечує міцнісні критерії, а покриття захищає від впливу зовнішнього середовища, температури і т.д. В кінцевому випадку конструкційні матеріали набувають корозійної стійкості, жаростійкості, зносостійкості, кавітаційної стійкості і т.д. Незважаючи на можливу універсальність застосування дифузійних покриттів, методи їх отримання в науковому та технічному аспектах розроблені недостатньо.

В наш час існує багато способів нанесення покриттів, а з цих способів своєю універсальністю, технологічною простотою, економічністю виділяється спосіб нанесення покриттів у середовищі легкоплавких розплавів. Окрім цього даний спосіб має ще одну величезну перевагу – це можливість об'єднання процесу нанесення покриттів з процесом з'єднання деталей в нероз'ємну конструкцію [1-8].

Кількість робіт, присвячених дослідженню ізотермічного перенесення в розплавах легкоплавких металів, невелика [1-9]. Найбільш повно узагальнення літературних даних по цьому питанню приведено в монографії В.І. Нікітіна [10]. В цих роботах легкоплавкі метали розглядались як теплоносії енергетичних установок, та дослідження проводились при невисоких

температурах порядку 773-873 К, що є непридатним для отримання якісних дифузійних покриттів. Але ці дані дають можливість встановити наявність масо переносу в різних контактних парах через рідку фазу легкоплавкого металу, в якій швидкість дифузії зростає в 3-6 разів. Результати показують, що якщо, згідно діаграми стану системи двох металів можливе утворення твердих розчинів чи сполучень, то дана пара буде піддаватися ізотермічному перенесенню при переносі її в розплав легкоплавких металів [10].

Успішна реалізація процесу нанесення дифузійних покриттів досягається шляхом підбору для конкретного металу виробів оптимального складу рідкометалевих ванн, температурного режиму, умов перемішування розплаву. Дослідження проведені автором [10] показують, що, застосовуючи в якості транспортних середовищ легкоплавкі метали, можна отримати безліч різноманітних покриттів. При цьому, можливо, отримати для одного металу дифузійні покриття різного фазового складу та структурної будови.

В роботі по аналогічним дослідженням з роботою [10] з використанням контейнерної технології нанесення покриттів з рідкометалевих розплавів не досліджувались питання впливу покриттів на статичну міцність, пластичність і залишкові напруження в залежності від технологічних параметрів та режимів нанесення покриттів.

У патенті [11] описано спосіб термічної обробки нержавіючих сталей аустенітного класу, який включає в себе охолодження у воді нагрітих до температур 950-1100°C заготовок, згідно винаходу, відрізняється тим, що заготовки виготовляють литтям, заливаючи форму розплавом сталі, при досягненні заготовками у формі в процесі тверднення температур 1100-950 °C, їх виймають з форми при цій температурі і занурюють у воду.

Недоліком такого способу є те, що він потребує громіздкого технологічного обладнання, спеціальних камерних печей, піддони (енергоносіїв) природного газу, електроенергії, збільшує цикл виробництва лиття і не забезпечує стабільних механічних властивостей сталі внаслідок нерівномірного прогріву заготовок.

Згідно з дослідженнями [12], сталь 12X18H9T з титаном має невелику схильність до дисперсного твердіння, яке виявляється після довготривалого нагріву сталі в інтервалі температур 500–800 °С.

Вивчення впливу режимів термічної обробки на зміну механічних властивостей сталі 12X18H9T дозволило встановити, що з підвищенням температури гартування характеристики міцності при кімнатних температурах зменшуються, а пластичність збільшується. При температурах випробування 600–800 °С підвищення температури гартування викликає підвищення короточасної і довготривалої міцності та зменшення пластичності [13].

Випробування на термічну стійкість сталі 12X18H9T дали змогу встановити, що гартування вище 1100 °С збільшує час до руйнування при 800 °С та напрузі 4 кГс/мм², зменшує термостійкість та пластичність.

Авторами робіт [14-16] проведено дослідження по встановленню співвідношень титану з вуглецем для того, щоб усунути у хромонікелевих сталях з титаном схильності до міжкристалітної корозії.

Перед випробуванням всі зразки гартували при приблизно 1000 °С. Випробування проводили в розчині мідного купоросу з сірчаною кислотою на протязі 24 год. Лінія розділяє зразки схильні та не схильні до міжкристалітної корозії, та показує, що при відношенні титану до вуглецю не менше 5,5 % і вмісті вуглецю 0,02 % міжкристалітної корозії не повинно бути.

У роботах [17-19] наведено результати стендових випробувань, робочих коліс відцентрових насосів, оброблених хіміко-термічним методом (ХТО), в умовах гідро абразивного зношування. Покриття значно підвищує стійкість поверхні до гідро абразивного зношування.

Комбіновані термодифузійні покриття забезпечують підвищення твердості обробленої поверхні до 1000-1700 HV при прийнятній крихкості утвореного покриття [17-19]. Покриття значно підвищує стійкість поверхні до гідро абразивного зношування. В ході експерименту було встановлено зниження зносу (певного масовим методом) в 1,7-2,3 разів. Покриття забезпечують значне підвищення корозійної стійкості поверхні.

Забезпечення надійності, зносостійкості і продовження ресурсу насосного обладнання є проблемою для багатьох галузей народного господарства. Заводами-виробниками електро-відцентрових насосів приймаються різні заходи щодо посилення їх робочих органів, валів і підшипникових вузлів. В основному такі завдання вирішуються за допомогою різних фізичних, хімічних, термічних і металургійних методів підвищення зносостійкості металу, з якого зроблені деталі насосів [17-19].

У роботі [20] описано застосування карбонітрації при виготовленні насосного обладнання. Суть методу карбонітрації полягає в зміцненні поверхневого шару виробів із сталі і чавуну методом дифузійного насичення азотом і вуглецем в розплаві солей, синтезованих з амоніє-вуглецевих з'єднань (меламін, мелон, диціандіамід), при температурі 560 – 600 °С. Технологія використовується для підвищення зносостійкості, втомної міцності і в поєднанні з окисдуванням – для збільшення корозійної стійкості. У багатьох випадках технологія карбонітрації є більш вигідною альтернативою таких процесів, як поверхневе гартування, гальванічне хромування, цементация, нітроцементация та інші.

Авторами роботи [21] запропонований спосіб створення зносостійких покриттів шляхом плазмового напилення порошку ПГСП-4 на поверхню деталей машин. Для отримання модифікованих плазмовою обробкою поверхні зразків була використана оригінальна плазмова установка з двома плазмовими генераторами, що забезпечують одночасне створення розплаву на поверхні оброблюваної деталі, а також нагрів і впровадження в утворений розплав частинок наноситься порошку системи Ni-Cr-B-Si (ПГСП-4 з фракцією 80-100 мкм). Встановлено, що при плазмовому напиленні порошку ПГСП-4 на активовану поверхню деталі виникає «перехідна» зона, утворена внаслідок взаємодії рідкої фази деталі з матеріалом напилюваного порошку, основними складовими якої є тверді розчини γ - (Fe, Ni) і γ - (Ni, Cr) з невеликою кількістю мартенситної фази. Даним методом плазмової обробки вдається отримати покриття з міцної зв'язком «покриття - підкладка». При цьому загальна деформація деталі, при якій покриття ще не відшаровується, становить 6-8%.

Розроблений спосіб є перспективним для створення зносостійких покриттів на сталі з високою міцністю зчеплення.

У роботі [22] розглянуто залежність ресурсу робочого колеса погрузного відцентрового насоса від зносостійкості поверхневого шару, особливість якої полягає в тому, що вона дозволяє визначити твердість і глибину зміцнюючого борованого шару для підвищення ресурсу. Параметри процесів борування поверхневого шару і магнітно-імпульсної обробки робочого колеса погрузного відцентрового насоса, відрізняються тим, що вони забезпечують підвищення ресурсу не менше ніж в два рази.

Приклади корозійностійких матеріалів, що використовуються у якості легувальних елементів, їх вплив на структуру та властивості як вибраної сталі, так і деталі з якої вона виготовлена, наведено у [23]. Одним з основних легувальних елементів є титан. Додавання до складу сильного карбідоутворюючого елементу титану дозволяє усунути схильність сталі до міжкристалітної корозії. Вступаючи в реакцію з вуглецем (C), він утворює тугоплавкий карбід TiC, виключаючи зменшення концентрації в сплаві хрому (Cr) шляхом утворення його карбідів. Титан додають до складу сталі також для подрібнення зерна і стримання його росту при нагріванні. В корозійно-стійких сталях титан запобігає міжкристалітній корозії.

При температурах дослідів приблизно 600 °C та нижче найкращі жароміцні характеристики мають сталі з дрібнозернистою структурою [24]. Жароміцні властивості мало залежать від відношення титану до вуглецю в сталі. Але якщо сталь з титаном під час роботи при високих температурах або при охолодженні піддається впливу агресивного середовища, необхідно мати більш високе відношення титану до вуглецю. Спостерігається менша жароміцність сталі з дрібнозернистою структурою, із вмістом титану, в тих випадках, коли в процесі проведення дослідів в сталі утворюється σ -фаза чи відбувається виділення фериту.

Авторами [25] вивчено вплив величини зерна на довгочасну міцність та пластичність сталі 12X18H9T при різному відношенні вмісту титану до вуглецю. Встановлено, що зі збільшенні надлишку титану по відношенню до

вуглецю більше чотирикратного, збільшується негативний вплив величини зерна на пластичність, що визначається при довгочасних випробуваннях на жароміцність. При відношенні $Ti:C$ більше 5-6-кратного надлишковий титан виділяється по межах зерен у вигляді інтерметалідної сполуки.

У роботах [26-28] досліджена кавітаційна стійкість дифузійних захисних карбідних покриттів, нанесених на вуглецеві і леговані сталі. Представлені результати визначення кавітаційної стійкості покриттів карбідного типу, отриманих в порошкових металотермічних сумішах. Випробування на кавітаційну стійкість проведені відповідно до стандартної методики із застосуванням стандартної статистичної обробки отриманих експериментальних даних. Запропоновано склади захисних покриттів, які можуть бути рекомендовані в якості кавітаційно-стійких, значно поліпшують експлуатаційні показники стійкості і надійності деталей машин і механізмів. Показана технологія їх нанесення методом хіміко-термічної обробки. Представлені в статті матеріали мають практичне застосування [26-28].

Максимальний захист від кавітаційної ерозії поверхневих шарів деталей машин забезпечують одно- і багатокомпонентні карбідні шари, що мають товщину шару більше 30 мкм. Дифузійні шари карбідного типу на сталі марки 20ХНР також забезпечують надійний захист від гідроерозії. Основними фазами дифузійних шарів в цьому випадку, крім тонкого карбідного шару, є твердий розчин легуючих елементів в α -залізі. За результатами випробувань можна зробити висновок, що дифузійні карбідні шари на сталях типу 20ХНР, 40ХН, 38ХМЮА можуть використовуватися для ефективного захисту від кавітаційної ерозії [26-28].

Високолеговані маловуглецеві сталі 20Х13 і І2ХІ8Н9Т в початковому стані мають кавітаційну стійкість, що перевищує стійкість сталей даних марок з нанесеними дифузійними шарами. Це пояснюється неможливістю утворення суцільного карбідного шару достатньої товщини внаслідок малого процентного вмісту вуглецю, наявності в основі карбідоутворюючих елементів, що пов'язують вуглець, а також присутністю в шарі крихкої σ -фази [26-28].

Проведені виробничі випробування робочого колеса насоса марки 2К6, використовуваного для перекачування агресивних середовищ виноробної промисловості показали 5 кратне підвищення його експлуатаційної стійкості [28].

Автором [29] розглянуті питання надійності деталей, що піддаються в експлуатаційних умовах динамічного впливу корозійно-активних рідких середовищ (водних розчинів хлориду натрію, технологічних рідин з показником рН від 2,5 до 14; води, що містить вуглекислий газ і т.п.) і, як наслідок, - інтенсивному корозійного і кавітаційно-ерозійного зношування. Наведено результати аналітичного та лабораторного моделювання процесів зношування обладнання, компактних матеріалів і покриттів. Досліджено критерії зносостійкості матеріалів і покриттів; запропоновані методи розрахункової оцінки довговічності обладнання.

У роботі [30] представлено теоретичне і експериментальне обґрунтування нового підходу до створення вискоєфективної протиерозійного захисту комбінованого типу робочих лопаток останніх ступенів енергетичних турбін виробництва ВАТ «Турбоатом». Показано, що за допомогою чисельного експерименту на базі комплексної математичної моделі ерозії, яка враховує основні робочі процеси в проточній частині, а також сучасних технологій створення нових ерозійно-стійких покриттів методом атомно-іонного розпилення матеріалів у вакуумі (AIP), можливе істотне збільшення ерозійної стійкості робочих лопаток за рахунок раціонального комбінування заходів активного та пасивного захисту від ерозії останніх ступенів потужних парових турбін, що розробляються в ВАТ «Турбоатом».

У роботі [31] досліджено спосіб пошарового нанесення на металеву поверхню електроіскрового покриття з металу групи Cu, In, Pb, Cd, Sn і покриття з Ti, V, W, карбідів або твердих сплавів типу ВК, що дозволило підвищити якість і зносостійкість формованого поверхневого шару в порівнянні з покриттям без підшару. Встановлено, що спечені електродні матеріали, що складаються з 10-30 % (мас.) сплаву Ni-Cr-Si-B і твердого сплаву ВК6, дозволяють формувати електроіскрові покриття товщиною до 100 мкм і

мікротвердістю 12,3-14,2 ГПа. Зносостійкість і довговічність таких покриттів істотно вище, ніж покриттів з стандартного твердого сплаву ВК6. Застосування розробленої технології та запропонованих електродних матеріалів дозволяє збільшити стійкість і довговічність деталей обладнання. Досліджено метод пошарового нанесення на металеву поверхню електроіскрових покриттів із металів групи Cu, In, Pb, Cd, Sn та покриттів із Ti, V, W, карбідів або твердих сплавів типу ВК, що дозволило суттєво підвищити якість та зносостійкість поверхнево шару, порівняно з покриття без підшару.

Нова технологія нанесення описана в [32] дозволяє замінити методи осадження покриття з газової фази. Структура покриттів, одержуваних з застосуванням розробленої технології, значно однорідніше (відсутні «дендрити»), суцільність покриття вище, межа покриття-підкладка слабо виражена завдяки високій адгезії до монолітного матеріалу основи підкладки. Стабільність процесу висока, що забезпечує високий відсоток виходу працездатних деталей. У реалізації проекту використовуються вітчизняні розробки та технології.

Новий процес [32] дозволяє збільшити ресурс турбонасосних агрегатів енергетичних установок. Оцінюючи перспективи, можна прогнозувати, що при вирішенні завдання по збільшенню ресурсу роботи деталей турбонасосних агрегатів енергетичних установок з можливістю форсування експлуатаційних режимів досягається загальне підвищення конкурентоспроможності таких енергетичних установок вітчизняного виробництва. Таким чином, подальша комерціалізація даної розробки і створення технологічних ліній для зміцнення дозволять забезпечити виробництво вітчизняних потужних енергетичних установок, підвищать експортний потенціал машинобудування в сегментах енергетичних агрегатів і устаткування для зміцнення виробів. Специфічною особливістю отриманих покриттів є те, що вони представляють собою пошарово-неоднорідну по товщині структуру. Гарна адгезія таких покриттів обумовлена тим, що шаром, що прилягає до підложки, завжди є функціональний олігомерний компонент, так як швидкість його електросадження завжди більше швидкості електроосадження дисперсної фази.

Це відбувається за рахунок того, що електроосадження олігомерної фази визначається фазовим перетворенням – втратою розчинності в при електронному шарі, а дисперсна фаза осідає по електрофоретичному механізму. Тому зовнішні шари, збагачені полімерним компонентом, забезпечують покриттю необхідний комплекс властивостей [32].

У роботі [33] описано спосіб підвищення експлуатаційних якостей відцентрових насосів шляхом створення гідروفобного покриття на основі фторопласта на поверхнях робочих коліс. Наведено результати експериментальних досліджень насоса КМ 65-50-160, які показали, що його ККД збільшується при збереженні практично незмінними кавітаційних якостей. Розглянуто питання фізико-математичного моделювання пристінної турбулентності для поверхні з гідروفобним покриттям.

Автори роботи [34] пропонують технологію нанесення полімеркомпозиційного покриття. В результаті досліджень встановлено, що зносостійкість полімеркомпозиційного покриття приблизно в 3,5 разу вище, ніж сталі. Це дало можливість застосувати для захисту деталей відцентрових насосів перекачувального устаткування полімеркомпозиційне покриття на основі епоксидної матриці і тугоплавкого наповнювача. Виробничі випробування робочих коліс із захисним покриттям, показали, що к.к.д. насосів збільшується на 2-3 %, а також збільшується в 1,5 рази міжремонтний період.

У зв'язку з цим була розроблена технологія нанесення полімеркомпозиційного покриття на робочі колеса відцентрових насосів.

У роботі [35] запропоновано метод використання полімерного матеріалу: НВМПЕ (СВМПЕ) в якості захисного покриття. Проведено порівняльний аналіз властивостей СВМПЕ і описані методи його модифікації. В роботі обґрунтовані технологія і схема розміщення на робочих колесах і проточних каналах покриттів з цього матеріалу.

1.2 Покращення властивостей сталі 12X18Н9Т методом нанесення зміцнюючих нітридних покриттів

В даний час однією з найбільш значущих проблем пов'язаних з експлуатацією металоконструкцій в умовах хімічних і металургійних виробництв є їх низька корозійна стійкість. Тому при проектуванні металоконструкцій особливу увагу слід приділяти захисним заходам, що дозволяє підвищити їх довговічність при роботі в екстремальних умовах. З огляду на, що в процесі експлуатації виробу піддаються одночасному впливу як агресивних середовищ, так і розтягуючих напруг, то слід приділяти більшу увагу корозійному розтріскуванню, яке призводить до виходу з ладу металоконструкцій і обладнання і є переважаючим при їх крихкому руйнуванні [36, 37].

На сьогоднішній день існує велика різноманітність методів підвищення корозійної стійкості виробів, що виготовляються з конструкційних сталей, застосування яких обумовлено специфікою експлуатації, а також економічними факторами.

Одним з ефективних методів захисту сталей від корозійного розтріскування є використання покриттів (металевих і неметалевих), що наносяться на поверхню металу [38, 39]. Не менш ефективним способом підвищення стійкості сталей проти корозійного розтріскування є їх легування різними хімічними елементами [40, 41].

Однак до легування сталей необхідно ставиться досить обережно, оскільки в деяких випадках підвищення концентрації легуючих елементів понад порогового значення різко погіршує корозійні властивості сталі [41]. У зв'язку з цим досить актуальним завданням є проведення корозійних випробувань конструкційних легованих сталей для оцінки їх опірності корозійного розтріскування і вироблення рекомендацій щодо їх захисту від даного виду руйнування.

Високі твердість, зносостійкість, а також хімічна стабільність покриттів на основі нітриду титану забезпечили в останні десятиліття їх широке

використання в різних галузях промисловості, починаючи від захисту ріжучих інструментів і закінчуючи формуванням дифузійних шарів в мікроелектронних пристроях і селективних поглинаючих шарів в сонячних колекторах [42-44].

Покриття TiAlN практично не окислюються аж до температури 800 °C [45, 46]. Це обумовлено формуванням при підвищених температурах на поверхні даних покриттів тонкого щільного шару Al₂O₃, який виконує роль дифузійного бар'єру, перешкоджаючи проникненню кисню в покриття [47, 48].

При досить високому відносному вмісті алюмінію через обмежену взаємної розчинності нітридів титану і алюмінію можливий також і механізм дисперсійного зміцнення покриттів [49, 50].

Покриття TiAlN набули широкого поширення в промисловості для підвищення зносостійкості і корозійної стійкості деталей і механізмів завдяки високій твердості і стійкості до окислення. Підвищена твердість покриттів TiAlN обумовлена тим, що Al частково заміщає Ti в кристалічній решітці TiN, формуючи метастабільну ГЦК структуру типу сфалериту (z-AlN). Це призводить до пружної дисторсії кристалічної решітки покриттів TiAlN і, як наслідок, до їх твердорастворному зміцненню.

Однак при температурах понад 900-950 °C відбувається спінодального розкладання метастабільного твердого розчину Ti_{1-x}Al_xN, в процесі якого домени с AlN трансформуються в стабільну гексагональну фазу w-AlN (вюрцит), викликаючи різке зниження твердості і зносостійкості покриттів [51, 52].

Подальші перспективи підвищення твердості і збільшення робочих температур покриттів TiAlN пов'язані з їх додатковим легуванням. Зокрема, легування Ta дозволяє не тільки істотно збільшити твердість і тріщиностійкість покриттів TiAlN [53-55], але і підвищити температуру освіти в них фази w-AlN аж до 1200 °C, що забезпечує збереження високої твердості покриттів при підвищених температурах [56, 57]. У той же час залежність структури і властивостей покриттів TiAlTaN від змісту Ta на сьогоднішній день вивчені недостатньо, хоча відомо, що характеристики багатоелементних покриттів істотно залежать від концентрації в них різних елементів. Тому метою даної

роботи є дослідження впливу легування Та на морфологію поверхні, мікроструктуру і механічні характеристики покриттів TiAlN.

В роботі [58] вивчалася мікротвердість композиції покриття + інструментальний матеріал. Виявлено різний характер залежно мікротвердості системи покриття + інструментальний матеріал від товщини покриття для різних парціальних тисків азоту при конденсації. Показано, що при тисках 0,02 Па значний зміцнюючий ефект покриття проявляється, починаючи з товщини 2,0 - 2,5 мкм. Висловлено припущення, що за цих умов осадження створюються умови або для дисперсного зміцнення α -Ti мелкодисперсними включеннями TiN (а, може бути, і іншої фази, виявленої рентгеноструктурного), або для істотно більш якісної адгезії з поверхнею сталі в порівнянні з конденсацією при інших тисках.

Дослідженню формування багатокomпонентних вакуумних, електродугових покриттів із сплавів присвячена робота [59]. Показано, що при іонному бомбардуванні багатокomпонентними матеріалами поверхні підкладок має місце розвиток поверхневого рельєфу, порушення стехіометрії і імплантації іонів розпилювального потоку. Мікрозондовий аналіз поверхневого шару після бомбардування свідчить про залежність його складу від кута (α) падіння іонів і про різницю в концентраціях елементів на виступах і западинах. Ця різниця має найменші значення при $\alpha \approx 45^\circ$, крім того, якщо при $\alpha \approx 0^\circ$ концентрація будь-якого елемента, що входить в сплав, більше на виступі або западині, то при $\alpha > 45^\circ$ і тих же режимах бомбардування ситуація змінюється на протилежну.

Порівняльні дослідження покриттів Ti-Al-N, отриманих магнетронним і іонно-дуговим методами з мішеней, які містять від 10% до 50 % Al, висвітлені в роботі [60]. Мішені з 25 і 50 % Al виготовляли методом гарячого пресування, для мішені з вмістом 10% Al використовували промисловий сплав титану (6 мас.% Al і 4 мас.% V). Покриття наносили на інструментальні сталі. Показано, що високі значення мікротвердості покриттів, нанесених магнетронним методом, виходять тільки у вузьких межах величини парціального тиску азоту, що стосується дугового джерела, то тверді покриття можна отримувати в більш широкій області тисків азоту.

Функціональні покриття системи Ti-Al-N були запропоновані для промислового застосування в середині 80-х років минулого століття як альтернатива TiN покриттям [61 - 63]. До основних переваг Ti-Al-N покриттів відносяться найкраща в порівнянні з TiN стійкість до окислення, підвищена твердість, зносостійкість, стабільність механічних властивостей при функціонуванні в умовах підвищених температур. Основні області застосування Ti-Al-N покриттів - це зносостійкі захисні покриття на ріжучому інструменті для високошвидкісного і сухого різання, дифузійні бар'єрні покриття для мікроелектроніки, покриття на зубних імплантатах і ін. У перших публікаціях по розробці промислових Ti-Al-N покриттів досліджувалися плівки, отримані магнетронним розпиленням [61 - 63], пізніше з'явилися роботи по вакуумно-дуговому осадженні [64]. Крім вакуумно-дугового і магнетронного методів осадження, широко використовуваних в промисловості, застосовують і інші PVD методи, причому всі вони постійно удосконалюються.

В [65] проведено порівняння властивостей TiN і TiAlN покриттів, обложених з вакуумнодуговою плазми з імпульсним потенціалом на підкладці. В експериментах підтримувався на одному рівні усереднений за часом потенціал підкладки, тобто при збільшенні амплітуди імпульсів від 0.5 до 4 кВ пропорційно зменшували їх тривалість; частота повторення дорівнювала 10кГц. При цьому автори роботи [65] не наводять фізичного обґрунтування використання усередненого потенціалу як константи процесу, хоча відомо, що виділяється потужність пропорційна квадрату потенціалу. І дійсно, вимірювання показали, що зі збільшенням амплітуди імпульсів температура підкладки, яка встановлює за фіксований часовий інтервал, зростає; в покриттях TiAlN переважної стає текстура (200), що характерно для осадження при підвищеному потенціалі; твердість зростає (а у TiN покриттів при цих же умовах знижується). Таким чином, усереднений за часом потенціал підкладки не є параметром, що визначає властивості покриття.

У роботі [66] за допомогою структурного аналізу XRD і просвічуючої електронної мікроскопії були досліджені зміни мікроструктури покриттів TiAlN, завданих магнетронним розпиленням, після термоцикування (140

циклів). Процедура термоцикування полягала в нагріванні до 900 °C і подальшому охолодженні до кімнатної температури. Напилювана мішень представляла собою сплав 60 Ti - 40 Al (ат.%). Покриття наносили або на загартовану підкладку з аустенітної сталі, або на ту ж підкладку після попередньої обробки іонним пучком Ti.

Встановлено, що в процесі термоцикування [66] на поверхні покриття формується шар оксидів Ti і Al з мікрокристалічною структурою. Стискаючі макронапруження під оксидним шаром в покритті TiAlN зменшуються, а неоднорідність розподілу Al в покритті Ti 1-x Al x N фаза збільшується. Попередня обробка підкладки іонним пучком Ti призводить до підвищення термічної стабільності покриття, зменшення товщини оксидного шару за таку ж кількість термічних циклів і до більш широкого діапазону концентрацій Al в Ti 1 x Al x N-фаза поверхневих шарів покриття.

У статті [67] чотири типи твердих покриттів: TiN, CrN, TiAlN і CrAlN (з атомним співвідношенням Al/Ti або Al/Cr близько 1: 1) були нанесені на підкладки з нержавіючої сталі. Після нанесення покриття відпалювали в навколишній атмосфері при різних температурах (500-1000 °C) протягом 1 год. Еволюція хімічного складу, мікроструктури і мікротвердості цих [67] покриттів після відпалу при різних температурах систематично аналізувалася методами EDX, рентгенівської дифракції XRD. Порівнювалися характеристики окислення і його вплив на загальну твердість цих чотирьох покриттів. Було виявлено, що потрібні покриття TiAlN і CrAlN мають кращу стійкість до окиснення ніж їх бінарні аналоги, покриття TiN і CrN. Покриття на основі Cr (CrN і CrAlN) продемонстрували явно кращу стійкість до окислення, ніж покриття на основі Ti (TiN і TiAlN).

У роботі [68] досліджено вплив температури конденсації і структури катода на структуру і механічні властивості формованого покриття. Встановлено вплив структури покриття на розміри областей когерентного розсіювання, залишкові напруги і мікротвердість покриття. Також вивчено вплив структури покриття на знос інструменту.

Висновки

У процесі написання даної кваліфікаційної роботи магістра, було проведено ретельний огляд літератури, статей, навчальних матеріалів та патентів.

Варто відзначити, що сталь застосовують для роботи в умовах високої агресивності середовища, тому щоб забезпечити довгий термін служби в таких умовах, сталь повинна мати гарні корозійну та жаростійкість.

При температурах дослідів приблизно 600 °С та нижче найкращі жароміцні характеристики мають сталі з дрібнозернистою структурою.

Жароміцні властивості мало залежать від відношення титану до вуглецю в сталі. Але якщо сталь з титаном під час роботи при високих температурах або при охолодженні піддається впливу агресивного середовища, необхідно мати більш високе відношення титану до вуглецю. Спостерігається менша жароміцність сталі з дрібнозернистою структурою, із вмістом титану, в тих випадках, коли в процесі проведення дослідів в сталі утворюється σ -фаза чи відбувається виділення фериту.

Вивчення впливу режимів термічної обробки на зміну механічних властивостей сталі 12X18H9T дозволило встановити, що з підвищенням температури гартування характеристики міцності при кімнатних температурах зменшуються, а пластичність збільшується. При температурах випробування 600–800 °С підвищення температури гартування викликає підвищення короточасної і довготривалої міцності та зменшення пластичності.

В наш час існує багато способів нанесення покриттів, які відрізняються своєю універсальністю, технологічною простотою, економічністю і іншим. Наносяться захисні ж покриття для підвищення довговічності роботи виробів зі сталі, шляхом підвищення її міцнісних характеристик.

РОЗДІЛ 2

ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ТА ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Характеристика сталі 12Х18Н9Т

В кваліфікаційній випускній роботі магістра для проведення експериментів використовувалась сталь 12Х18Н9Т.

Сталь 12Х18Н9Т – корозійностійка та жаростійка сталь аустенітного класу (табл. 2.1 – 2.5). Призначена для деталей та конструкцій, що отримують точковим зварюванням. Вид поставки: виливки: ГОСТ 2176-77 [69].

Таблиця 2.1

Хімічний склад в % матеріалу 12Х18Н9Т [69]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Ti	Cu	Fe
До 0,12	0,2-1	1-2	8-11	До 0,03	До 0,035	17-20	До 0,6	До 0,3	~68

Таблиця 2.2

Технологічні властивості сталі 12Х18Н9Т [69]

Зварюваність	Способи зварювання	Режими термообробки °С	Флокено-чутливість	Схильність до відпускнуї крихкості
Зварювання з обмеженнями	РД, РАД, КТ, АФ	Гартування при 1050-1100. Середовище охолодження: масло	Не чутлива	Не схильна

Таблиця 2.3

Механічні властивості сталі 12Х18Н9Т при T=20°C [69]

Сорт-мент	Роз-мір мм	S _B (МПа)	s _T (МПа)	d ₅ (%)	Y (%)	KCU (кДж/м ²)	Термообробка
Виливка, ГОСТ 977-88	до 100	441	196	25	32	590	Гартування 1050 – 1100 °С

Таблиця 2.4

Ливарні властивості сталі 12Х18Н9Т [69]

Температура початку затвердіння °С	Рідко- текучість	Показник тріщино- стійкості	Схильність до утворення усадкової раковини	Схильність до утворення усадкової пористості	Лінійна усадка при литті %
1425-1440	1,0	1,0	1,0	1,0	2,7-2,8

Таблиця 2.5

Фізичні властивості сталі 12Х18Н9Т [69]

T	R 10 ⁹	E 10 ⁻⁵	I	a 10 ⁶	ρ	C
Град	Ом·м	МПа	Вт/(м·град)	1/Град	кг/м ³	Дж/ (кг·град)
20	750	1,94	15			
100	813	1,89	16	16,8		512
200	879	1,76	18	17		533
300	943	1,56	19	17,4		533
400	1006	1,49	21	17,7		542
500	1031	1,38	22	18,1		554
600	1082	1,33	24	18,5		571
700	1123	1,25	25	18,9		580
800	1152	1,12	26	19,1		588

2.2 Вплив легувальних елементів на властивості матеріалу

Легувальні елементи при додаванні в сталь можуть утворювати із залізом тверді розчини, легований цементит або самостійні спеціальні карбіди чи інтерметалічні з'єднання [70].

Основними легуючими елементами сталі 12X18H9T є хром, нікель і титан.

Хром покращує загартовуваність і прогартовуваність. При нагріванні для гартування карбід хрому розчиняється при більш низьких температурах і насичує твердий розчин не тільки хромом, але і вуглецем, що забезпечує високу твердість мартенситу. Позитивний вплив хрому полягає, крім того, в наступному [70]:

- хром знижує температури мартенситного перетворення і збільшує кількість залишкового аустеніту в загартованій сталі, що зменшує напруження і деформацію;
- хром частково виділяється з розчину при відпуску 450-525 °С, викликаючи дисперсійне твердіння, і частково але залишається в мартенситі, при більш високому нагріванні, затримуючи його знеміцнення;
- підвищує окалиностійкість при температурах різання [70].

Нікель не утворює власних карбідів в сплавах на основі заліза, і тому його вплив на структуру сталей у відпаленому стані проявляється головним чином за допомогою зміни концентрації вуглецю в евтектоїді. Як відомо, легування сталей нікелем підвищує прогартовуваність. Цим визначається доцільність легування ним штампових сталей, призначених для виготовлення великогабаритних молотових і пресових інструментів. Мало змінюючи чутливість до перегріву і, як наслідок, оптимальні температури загартування, нікель істотно знижує критичну швидкість охолодження [70].

Як показали дослідження, поряд зі значним збільшенням часу до початку перетворення в перлітній області, нікель набагато збільшує інкубаційний період, змінює температурні інтервали утворення бейніту. Ця властивість є

особливо важливою з точки зору зменшення чутливості до швидкості охолодження після аустенізації [70].

Іншою важливою особливістю впливу нікелю на властивості сталей є збільшення рухливості дислокацій внаслідок зменшення ступеня їх закріплення, атомами впровадження і зниження опору руху дефектів з боку кристалічної решітки. Діючи в цьому відношенні значно сильніше кобальту і кремнію, нікель ефективно підвищує пластичність різання [70].

Додавання до складу сталі 12X18H9T сильного карбідоутворюючого елементу титану дозволяє усунути схильність сталі до міжкристалітної корозії. Вступаючи в реакцію з вуглецем (C), він утворює тугоплавкий карбід TiC, виключаючи зменшення концентрації в сплаві хрому (Cr) шляхом утворення його карбідів. Титан додають до складу сталі також для подрібнення зерна і стримання його росту при нагріванні. В корозійно-стійких сталях титан запобігає міжкристалітній корозії. Реакції титану з багатьма елементами відбуваються лише при високих температурах. При звичайних температурах хімічна активність титану надзвичайно мала і він практично не вступає в реакції. Пов'язано це з тим, що на свіжій поверхні чистого титану, як тільки вона утворюється, дуже швидко з'являється інертна, така, що добре зростається з металом як найтонша (у декілька ангстремів ($1\text{Å}=10^{-10}\text{м}$) плівка діоксиду титану, що оберігає його від подальшого окислення. Якщо навіть цю плівку зняти, то в будь-якому середовищі, що містить кисень або інші сильні окислювачі (наприклад, в азотній або хромовій кислоті), ця плівка з'являється знов, і метал, як то кажуть, нею «пасивується», тобто захищає сам себе від подальшого руйнування [70].

Марганець у вигляді феромарганцю застосовується для розкислення сталі при її плавці, тобто для видалення з неї кисню. Крім того, він пов'язує сірку, що також покращує властивості сталей [70].

Фосфор розчиняється в фериті і за рахунок цього підвищує міцність сталей. Зі збільшенням вмісту фосфору в сталях їх пластичність і ударна в'язкість знижується і підвищується схильність до холодноламкості. Сірка не розчиняється у залізі, тому будь-яке її кількість утворює з залізом сульфід

заліза FeS. Цей сульфід входить до складу евтектики, яка утворюється при 988 °С. Підвищений вміст сірки в сталях призводить до їх червоноламкості через низькоплавких сульфідних евтектики, які виникають на межі зерен. Явище червоноламкості відбувається при температурі 800 °С, тобто при температурі червоного розжарювання стали. Сірка шкідливо впливає на пластичність, ударну в'язкість, зварюваність і якість поверхні сталей (особливо в сталях з низьким вмістом вуглецю і марганцю) [70].

2.3 Вибір методів дослідження і їх характеристика

Для вимірювання твердості застосовуємо твердоміри за методом Брінелля і Роквелла.

Метод Брінелля - один з основних методів визначення твердості матеріалу і був запропонований шведським інженером Юханом Августом Брінелем (1849-1925) в 1900 році, та став першим широко використовуваним і стандартизованим методом визначення твердості в матеріалознавстві. Метод Брінелля відноситься до методів вдавнення [71].

Випробування проводиться наступним чином [71]:

- спочатку зразок підводять до індентора;
- потім вдавлюють індентор в зразок з плавно наростаючим навантаженням протягом 2-8 секунд;
- після досягнення максимальної величини, навантаження на індентор витримується в певному інтервалі часу (для сталей, зазвичай, 10-15 секунд);
- знімають прикладене навантаження, відводять зразок від індентора і вимірюють діаметр отриманого відбитка.

Як індентор використовуються кульки з твердого сплаву діаметром 1; 2; 2.5; 5 і 10 мм. Величину навантаження і діаметр кульки вибирають в залежності від досліджуваного матеріалу [71].

У роботі використовувалися твердомір ТР - 5006, який призначений для вимірювання твердості металів і сплавів за методом Роквелла у відповідності з ГОСТ 9013-59, пластмас по ГОСТ 24622-81, графітів і металографітів, фанери,

пресованої деревини та інших матеріалів, виготовлених для потреб народного господарства. Твердомір ТР - 5006 дозволяє вимірювати твердість металів і сплавів за методом Брінелля по ГОСТ 9012-59. Прилад призначений для роботи в цехах і лабораторіях машинобудівних і металургійних підприємствах, а також в лабораторіях науково - дослідних інститутів з температурою навколишнього повітря від +10 до +35 градусів, відносною вологістю від 50 до 80 %[71].

Для спостереження і фотографування мікроструктури металів в звичайному світлі в світлому і темному полі і в поляризованому світлі в світлому полі використовують металографічний вертикальний мікроскоп МИМ-7 (рис. 2.1) [71].

Набір об'єктивів і окулярів забезпечує збільшення мікроскопа від 60х до 1440х при візуальному спостереженні і від 70х до 1350х при фотографуванні (табл. 2.6 – 2.7). Як джерело світла використана кінопроекційна лампа К-30 17В, 170 Вт [71].



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд металографічного мікроскопа МИМ-7 [71]

Таблиця 2.6

Збільшення мікроскопа при візуальному спостереженні (крат) [71]

Об'єктиви	7 ^x	10 ^x	15 ^x	20 ^x
F=23.2, A=0.17	(60) (100)	90 140	130 200	170 300
F=13.9, A=0.30	170 (250)	240 320	360 500	500 (650)

--	--	--	--	--

Продовження таблиці 2.6

F=8.2, A=0.37	500	720	1080	(1440)
F=0.2, A=0.65	500	720	1080	(1440)
F=2.8, A=1.25				
F=2.8, A=1.00				

Таблиця 2.7

Характеристики окулярів [71]

Позначення	Фокусне значення, мм	Лінійне поле зору	Шифр
1. Фотоокуляри			
Фотоокуляр 7х	26	21	АТ-18
Фотоокуляр 10х	25	13,4	АМ-33
Симетричний 15х	17	12	АТ-36
2. Окуляри для візуального спостереження			
Гюйгенса 7х зі змінною сіткою	35,9	18	АМ-11
Гюйгенса 10х	25	14	М-10
Гюйгенса 15х	17	8	М-11

Мікротвердомір ПМТ-3 (рис. 2.2, табл. 2.8-2.10) призначений для вимірювання мікротвердості матеріалів, сплавів, скла, кераміки і мінералів методом вдавлення в випробовуваний матеріал алмазного наконечника Віккерса з квадратною основою чотиригранної піраміди, що забезпечує геометричну і механічну подобу відбитків в міру заглиблення індентора під дією навантаження [72].

Вимірювання діагоналей відбитків роблять за допомогою фотоелектричного окулярного мікрометра і електронно-обчислювального пристрою (ЕОП), а також за допомогою гвинтового окулярного мікрометра

МОВ-1-16х. Мікроскоп мікротвердоміра дозволяє здійснювати огляд випробуваного об'єкта в світлому і темному полі [72].



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд мікротвердоміра ПМТ-3 [72]

Таблиця 2.8

Технічні характеристики мікротвердоміра ПМТ-3 [72]

Діапазон навантажень	Управління навантаженнями	Збільшення мікроскопа мікротвердоміра	Габаритні розміри	Маса агрегату
0.0196-4.9Н	ручне	130х, 500х, 800х	270х290х470	не більше 22 кг

Випробування проводять наступним чином [72]:

- закріпити предмет на пластині так, щоб його досліджувана поверхня розташувалася паралельно робочій площині столика;
- помістити на потовщену частину штока вантаж;
- плавно повернути предметний столик проти годинникової стрілки до упору, не допускаючи поштовхів при підведенні до упору. Закріпити предметний столик в цьому положенні гвинтом [72];

– повільним поворотом рукоятки проти годинникової стрілки опустити шток так, щоб алмаз торкнувся поверхні досліджуваного предмета. Рукоятку повертати приблизно на 180° протягом 10-15 сек. Після належної витримки (5с) під навантаженням повернути рукоятку у вихідне положення [72];

– виміряти діагональ відбитка за допомогою окуляр-мікрометра. Гвинтами підвести відбиток до перехрестився, при цьому обидві сторони перехрестя повинні прилягати до двох сторін відбитка. Після того як відбиток суміщений з перехрестям, потрібно зробити виміри по вимірювальному барабану окуляр-мікрометра. Потім обертати вимірювальний барабан до тих пір, поки перехрестя окуляра приводу не співпаде з протилежними двома сторонами відбитка і знову зробити виміри по окуляр-мікрометру. Різниця відліків, помножена на ціну поділки вимірювального барабана, дасть справжню величину діагоналі відбитка [72].

Таблиця 2.9

Характеристики об'єктивів мікротвердоміра ПМТ-3 [72]

Найменування	Фокусна відстань	Числова апертура	Збільшення з додатковою ахроматичною лінзою F=200 мм	Робоча відстань мм	Роздільна сила при прямому освітленні, мк
Епіоб'єктив F=23/2 A=0/17	23,17	0,17	8,6x	6,20	1,73
Епіоб'єктив F=6,2 A=0,65	6,16	0,65	32,5x	0,87	0,45

Таблиця 2.10

Характеристики окулярів мікротвердоміра ПМТ-3 [72]

Найменування	Збільшення	Фокусна відстань, мм	Лінійне поле зору, мм	Застосування
Окуляр компенсаційний	15x	16,69	11	Для візуального спостереження
Фотоокуляр	15x	17,00	12	Для фотографування

Висновки

Сталь 12Х18Н9Т – корозійностійка та жаростійка сталь аустенітного класу. Призначена для деталей та конструкцій, що отримують точковим зварюванням.

Основними легуючими елементами в сталі 12Х18Н9Т є хром, нікель і титан. Хром покращує загартовуваність і прогартовуваність. При нагріванні для гартування карбід хрому розчиняється при більш низьких температурах і насичує твердий розчин не тільки хромом, але і вуглецем, що забезпечує високу твердість мартенситу. Нікель не утворює власних карбідів в сплавах на основі заліза, і тому його вплив на структуру сталей у відпаленому стані проявляється головним чином за допомогою зміни концентрації вуглецю в евтектоїді. Як відомо, легування сталей нікелем підвищує прогартовуваність. Додавання до складу сталей сильного карбідоутворюючого елемента титану дозволяє усунути схильність сталі до міжкристалітної корозії. Вступаючи в реакцію з вуглецем (С), він утворює тугоплавкий карбід TiC , виключаючи зменшення концентрації в сплаві хрому (Cr) шляхом утворення його карбідів. Титан додають до складу сталі також для подрібнення зерна і стримання його росту при нагріванні. В корозійно-стійких сталях титан запобігає міжкристалітній корозії.

Для дослідження характеристик і властивостей обраного матеріалу застосовуємо: дослідження макроструктури (макроаналіз) – візуально або лупа від 10 до 30 крат; дослідження мікроструктури (мікроаналіз) – мікроскоп МИМ-7, а також мікротвердомір ПМТ-3; визначення твердості за Брінелем, Роквеллом та Віккерсом.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

3.1 Характеристика процесу магнетронного нанесення покриттів

Магнетронне нанесення покриттів або магнетронне розпилення – технологія нанесення тонких плівок і покриттів на підкладку за допомогою катодного розпилення мішені в плазмі магнетронного розряду в схрещених полях. Технологічні пристрої, призначені для реалізації цієї технології, називаються магнетронними розпилювальними системами або, скорочено, магнетронами [73].

З точки зору механізму емісії електронів, магнетронний розряд постійного струму являє собою аномальний тліючий розряд. Електрони залишають поверхню катода за рахунок іонно-електронної емісії під дією іонного бомбардування. У зв'язку з тим, що коефіцієнт іонно-електронної емісії дуже малий, іонний струм на катод перевищує електронний як мінімум на порядок. Баланс заряджених частинок в плазмі забезпечується іонізацією нейтральних атомів газу електронами, прискореними електричним полем в темному катодному просторі [73].

Основними елементами магнетрона є катод-мішень, анод і магнітна система. Силкові лінії магнітного поля замикаються між полюсами магнітної системи. Поверхня мішені, розташована між системами входу і виходу силових ліній магнітного поля, інтенсивно розпорошується і має вигляд замкнутої доріжки, геометрія якої визначається формою полюсів магнітної системи. При подачі постійної напруги між мішенню (негативний потенціал) і анодом (позитивний потенціал) виникає неоднорідне електричне поле і збуджується тліючий розряд. Наявність замкнутого магнітного поля у розпилюється поверхні мішені дозволяє локалізувати плазму розряду безпосередньо у мішені. Емітовані з катода під дією іонного бомбардування електрони захоплюються магнітним полем, і їм повідомляється складне циклоїдальних рух по замкнутих траєкторіях у поверхонь мішені. Електрони опиняються як би в пастці,

створюваної з одного боку магнітним полем, що повертає їх на катод, а з іншого боку - поверхнею мішені, їх відразливою. Електрон циркулює в цій пастці до тих пір, поки не відбудеться кілька іонізуючих зіткнень з атомами робочого газу, в результаті яких він втратить отриману від електричного поля енергію. Таким чином, більша частина енергії електрона, перш ніж він потрапляє на анод, використовується на іонізацію і збудження, що значно збільшує ефективність процесу іонізації і призводить до зростання концентрації позитивних іонів біля поверхні мішені. Це, в свою чергу, призводить до збільшення інтенсивності іонного бомбардування мішені і значного зростання швидкості осадження покриття [73].

На відміну від тліючого розряду, де електрон, який відчуває зіткнення, буде вільно прискорюватися електричним полем, поки не покине область катодного падіння потенціалу (темне катодного простір), наявність поперечного магнітного поля змушує електрон викривляти свою траєкторію під дією сили Лоренца. При достатній величині магнітного поля електрон повернеться на катод з майже нульовою енергією і знову почне прискорений рух під дією електричного поля. Траєкторією його руху буде циклоїда, електрон дрейфує вздовж поверхні катода в напрямку, перпендикулярному як електричному, так і магнітного поля. Електрон знаходиться в «пастці», покинути яку він може, тільки скоїв зіткнення з іншою часткою. Тоді він перейде на нову траєкторію, розташовану трохи далі від катода і так до тих пір, поки не ослабнуть поля, магнітне - за рахунок віддалення від полюсів магнітної системи, електричне - за рахунок плазмової екранування [73].

За рахунок наявності пастки багаторазово зростає ефективність іонізації емітованими електронами, що дозволяє, на відміну від звичайного діодного розряду, отримувати високу щільність іонного струму, а значить, і високі швидкості розпилення при відносно низькому тиску порядку 0,1 Па і нижче. Для того, щоб пастка працювала ефективно, необхідно виключити витік електронів на анод уздовж силових ліній магнітного поля, а траєкторії дрейфу повинні бути замкнуті [73].

Технологічне значення магнетронного розпилення полягає в тому, що бомбардують поверхню катода (мішені) іони розпилюють її. На цьому ефекті засновані технології магнетронного травлення, а завдяки тому, що розпорошеність речовина мішені, осідаючи на підкладку, може формувати щільну плівку найбільш широке застосування отримало магнетронного напилення [73].

При зіткненні іонів з поверхнею мішені відбувається передача моменту імпульсу матеріалу. Падаючий іон викликає каскад зіткнень в матеріалі. Після багаторазових зіткнень імпульс доходить до атома, розташованого на поверхні матеріалу, і який відривається від мішені і висаджується на поверхні підкладки. Середнє число вибитих атомів на один падаючий іон аргону називають ефективністю процесу, яка залежить від кута падіння, енергії і маси іона, маси випаровується і енергії зв'язку атома в матеріалі. У разі випаровування кристалічного матеріалу ефективність також залежить від розташування кристалічної решітки [73].

Частинки, що залишають поверхню мішені осідають у вигляді плівки на підкладці, а також частково розсіюються на молекулах залишкових газів або осідають на стінках робочої вакуумної камери [73].

3.2 Переваги й недоліки магнетронного напилення на установці ВУП-5М

Метод магнетронного нанесення покриттів можна реалізувати на установці вакуумний універсальний пост (ВУП-5М) (рис. 3.1), який призначений для підготовки об'єктів, досліджуваних за допомогою електронного мікроскопа та інших дослідницьких приладів.

Прилад може бути застосований для досліджень в області фізики, хімії, біології, медицини та інших областях науки і техніки.

Прилад призначений для роботи в стаціонарних лабораторних умовах при температурі навколишнього повітря від 15 до 25 °С і відносній вологості не більше 80 %.



Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд установки ВУП-5М

Основні переваги та особливості приладу: універсальність процесу дозволяє отримати плівки і покриття металів, сплавів і напівпровідників; висока швидкість осадження з можливістю її регулювання в широких межах; збереження співвідношення компонентів при розпилюванні речовини складного складу; прилад дозволяє отримати високу адгезію плівок і підкладки; можливість зміни структури і властивостей плівок; можливість розпилення декількох матеріалів без розгерметизації робочого об'єму; невеликий тепловий вплив на оброблювану структуру [74].

Вакуумний універсальний пост ВУП-5М призначений для отримання плівок і покриттів з різних матеріалів методом магнетронного розпилення. У робочій камері ВУП-5М встановлені три магнетронних розпилювача з плоскою мішенню.

Переваги методу магнетронного напилення [74]:

- зниження утворення негативних дуг;
- зниження засмічення мішеней з використанням реактивного розпилення;

- процес розпилення стабільний при тривалій роботі;
- нанесення покриття великої площі.

Недоліки методу магнетронного напилення [74]:

- низька швидкість осадження, температура в камері, як і вартість установки вище, на відміну від інших методів. Вартість установки в даному випадку відіграє велику роль, основна націнка відноситься до обладнання, що надає живлення агрегату [74];

- при осадженні хімічної сполуки на анод, він утворює шар діелектрика, що в свою чергу унеможлиблює продовжувати подальший процес розпилення. Це означає, що доведеться фіксувати додатковими детекторами стан анода, а після проводити чистку або заміну [74];

- аналогічна проблема, як і в першому випадку ставиться до мішені, частина продукту осідає на мішень, тим самим знижуючи швидкість бомбардування [74];

- утворення додаткових малих дугових розрядів в області мішені, перешкоджає утворенню готового продукту, крім того дуги обпалюють мішень і псують атоми на поверхні, які в подальшому не будуть брати участь в хімічній реакції [74].

Проблему частково можна вирішити, збільшивши відстань мішень - підкладка і знизивши щільність іонів, але недоліком є збільшення обсягу камери і зниження швидкості осадження [74].

3.3 Попередня термічна обробка сталі 12Х18Н9Т

Термічна обробка це зміна структури і властивостей металу шляхом нагрівання його до заданої температури, витримки до повного прогріву і охолодження із заданою швидкістю [75].

Метою попередньої термічної обробки є: поліпшення оброблюваності металу для виготовлення виробів; підготовка структури металу для остаточної термічної обробки, тобто отримання однорідної дрібнозернистої структури;

зняття наклепу, зниження рівня внутрішніх напруг; поліпшення комплексу механічних властивостей [75].

Як попередню термічну обробку для деталі отриманої методом лиття застосовують відпал, а в даному випадку для корозійно-стійкої сталі 12X18H9T ми застосовуємо стабілізуючий відпал [75].

Стабілізуючий відпал застосовують для сталей з метою забезпечення стабільної структури і попередження появи корозійних тріщин, також для зниження зварювальних напружень на 70 – 80 %. Механічні властивості фасонної виливки слід вимірювати при температурі експлуатації деталі, наприклад кімнатній [75].

Висока стійкість проти міжкристалітної корозії досягається в нержавіючих корозійностійких сталях застосуванням стабілізуючого відпалу (температура стабілізуючого відпалу зазвичай близько 850 °С), при якому карбіди повністю виділяються з розчину і присутні в скоагульованому вигляді, і хром рівномірно розподіляється за обсягом зерна [75].

Стабілізуючий відпал перешкоджає появі схильності до міжкристалітної корозії після сенсibiliзації, але все ж не забезпечує достатню стійкість в азотній кислоті. З цього можна зробити висновок, що стабілізуючий відпал усуває схильність до міжкристалітної корозії тільки карбідного типу [75].

Стабілізуючий відпал підвищує також стійкість наплавленого металу шва до міжкристалітної корозії. Шви, які зазнали стабілізуючому відпалу, можуть мати в наплавленого металу від 0,08 до 0,09 % С, не проявляючи схильності до міжкристалітної корозії. Особливо сприятливий вплив робить стабілізуючий відпал на зварні шви, які містять певну кількість титану, при автоматичному зварюванні [75].

Аустенітні сталі не завжди мають в холодному стані однорідну аустенітну структуру, після гарячої або холодної обробки вони можуть містити в різних кількостях ферит і карбіди. Ці фазові складові знижують корозійну стійкість сталей, пластичність і ударну в'язкість. Тому для отримання однофазного аустенітного стану сталі піддають аустенізації. Для аустенізації

сталей з вмістом вуглецю до 0,1 % необхідний нагрів від 750 до 950 °С в рівноважних умовах (тривалий нагрів). При наявності в сталі карбідоутворюючих елементів інтервал температур буде збільшуватися. Практично він становить для високолегованих сталей 1050-1150 °С з наступним гартуванням [75].

Аустенітні сталі доцільно застосовувати для конструкцій, що працюють при низьких температурах, так як мають високу холодостійкість і зберігають ударну в'язкість. Для таких сталей проводять аустенізацію при температурах 1050-1150 °С [75].

Для сталі 12Х18Н9Т проводимо аустенізацію при температурі 950-1050 °С. Графік повної термічної обробки приведено на рис. 3.2.

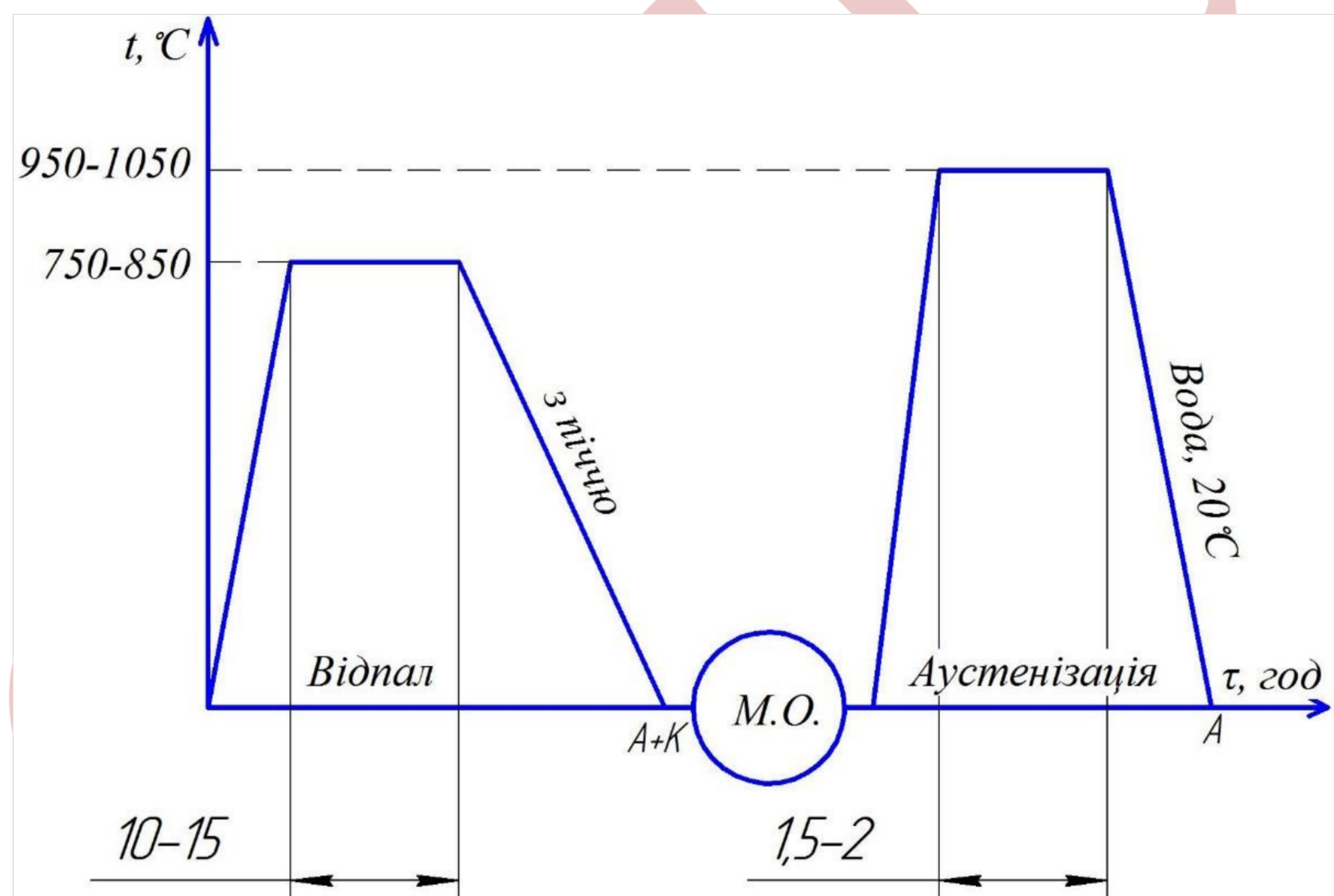
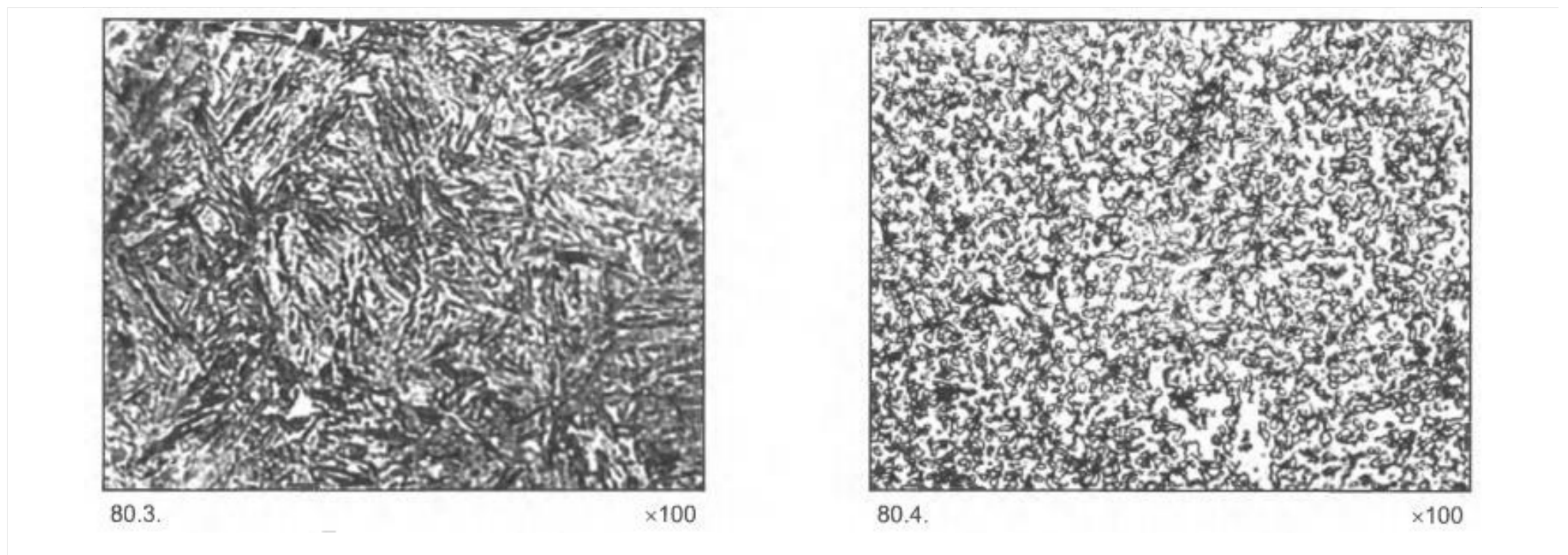


Рисунок 3.2 – Графік повної термічної обробки сталі 12Х18Н9Т

Після відпалу твердість була 200 НВ, а після проведення аустенізації її отримали порядку 170 - 180 НВ. Структура після повної термічної обробки сталі 12Х18Н9Т (рис. 3.3) складається з однорідного аустеніту.



а

б

Рисунок 3.3 – Структура сталі 12Х18Н9Т після повної термічної обробки: відпалу (а) та аустенізації (б), $\times 100$

3.4 Експериментальні дослідження при нанесенні покриттів

Високі твердість та зносостійкість, а також хімічна стабільність покриттів на основі нітриду титану (TiN) забезпечили в останні десятиріччя їх широке застосування в різних галузях промисловості, починаючи від зміцнення і захисту ріжучих інструментів і закінчуючи формуванням дифузійних шарів у мікроелектронних пристроях та селективних поглинаючих шарах у сонячних колекторах [76-77].

В раніше захищених роботах магістрів Сметаніна Р., Сітало С., Надточій К. та Перерви В. було проведено дослідження впливу покриттів TiN і TiAlN, отриманих магнетронним розпиленням на властивості конструкційних чи інструментальних сталей.

Із попередніх отриманих результатів та літературних джерел було зроблено висновок, що покриття TiN, легко окислюються при температурах 500 – 550 °С, що може обмежувати область їх можливого застосування [78, 79].

Тому ефективним способом підвищення стійкості покриттів на основі нітриду титану до процесів окислення є додавання до них легувальних елементів, зокрема алюмінію (Al). Покриття TiAlN практично не окислюються навіть до температури 800 °С [80].

Це обумовлено формуванням при підвищених температурах на поверхні таких покриттів тонкого щільного шару оксиду алюмінію Al_2O_3 , який виконує роль дифузійного бар'єру, тим самим перешкоджаючи проникненню кисню в покриття [81, 82]. Наряду з підвищенням корозійної стійкості введення алюмінію в покриття на основі нітриду титану забезпечує підвищення їх твердості та зносостійкості. Оскільки алюміній, як і титан, може утворювати нітрид з ГЦК-решіткою [82, 83], він заміщає титан в кристалічній решітці нітриду.

Однак, алюміній володіє меншим іонним радіусом, ніж титан, що призводить до зменшення параметра решітки покриття $TiAlN$ і до твердорозчинного зміцнення матеріалу покриття [84]. При досить високому відносному вмісті алюмінію через обмежену взаємну розчинність нітридів титану і алюмінію, можливий також і механізм дисперсійного зміцнення покриттів [84, 85].

Ефективним способом поліпшення адгезійної міцності і механічних властивостей покриттів $TiAlN$ є попереднє бомбардування підкладки пучками низькоенергетичних іонів. Подібна обробка призводить до очищення поверхні підкладки, зміни її шорсткості і структури, а також до імплантації падаючих іонів в поверхневий шар підкладки з утворенням змішаних фаз [86].

В результаті між покриттям і підкладкою формуються проміжні градієнтні шари, які поряд з підвищенням адгезійної міцності покриттів обумовлюють істотне зростання їх твердості і зносостійкості [81, 86, 87]. При цьому параметри іонної обробки підкладки істотно впливають на характер росту і властивості покриттів.

Як матеріал для дослідження використовувалась нержавіюча сталь 12Х18Н9Т (з вмістом 71,4 % заліза, 18 % хрому, 9 % нікелю, менше 1,5 % титану) після повної термічної обробки (див. пункт 3.3). Зразки для досліджень виконувалися у вигляді пластин розміром 15x15x2 мм.

Підготовка зразків включала в себе механічне шліфування, полірування абразивними пастами, хімічне ультразвукове очищення в розчині чотирихлористого вуглецю та подальшу сушку. Остаточна підготовка виробів

для нанесення покриття проводилася в вакуумному об'ємі установки ВУП-5М. Для забезпечення рівномірного нанесення покриття на поверхню нержавіючої сталі зразки розміщувалися на тримачах, укріплених в механізмі переміщення установки ВУП-5М. Перед осадження покриття в робочій камері були реалізовані режими іонної очистки, нагріву і активації поверхні зразків з використанням аргону.

З метою отримання кращих механічних та адгезійних властивостей перед нанесенням покриття на основі TiAlN частина підкладок піддавалася обробці пучками іонів титану Ti. Обробку сталевих підкладок безперервним потоком іонів Ti виконували за допомогою вакуумно-дугового імпульсного іонного джерела при потенціалі зміщення на підкладці -90 V і струмі дугового розряду 50 A . В якості мішені використовувався титан марки VT1-00 ($\text{Fe} < 0,12\%$; $\text{C} < 0,05\%$; $\text{Si} < 0,08\%$; $\text{N} < 0,04\%$; $\text{O} < 0,1\%$; $\text{H} < 0,008\%$; із вмістом Ti $99,5 - 99,9\%$). Тривалість обробки становила $1, 6$ і 12 хвилин. Покриття TiAlN наносили методом магнетронного розпилення комбінованої мішені з Ti (50%) - Al (50%) в реактивному середовищі з суміші газів аргону і азоту. Товщина покриттів становила $3-5\text{ мкм}$.

Фазовий склад покриттів знаходили за допомогою рентгенографічного аналізу із застосуванням рентгенівського спектрометра Дрон 4.07 (з випромінюванням CuK_α).

Дослідження морфології зразків та хімічного складу проводили за допомогою скануючого електронного мікроскопа JEOL JSM-7000 F (польовий емісійний скануючий електронний мікроскоп) за аналізу EDX (енергодисперсійний аналіз), мікротвердості методом мікроіндентування проводили в Інституті досліджень матеріалів у Кошиці (Словаччина). Мікроструктуру покриттів TiAlN досліджували методом просвічуючої електронної мікроскопії (ПЕМ) за допомогою мікроскопа ПЕМ 125К. Морфологію поверхні покриттів досліджували методом атомно-силової мікроскопії (АСМ) в контактному режимі.

Проведені дослідження показали, що іонна обробка сталеві підкладки приводить до формування на її поверхні тонкої плівки Ti. Про це, зокрема,

свідчить поява піків Ti на рентгенограмі підкладки, що піддавалась іонному бомбардуванню (рис. 3.4, а).

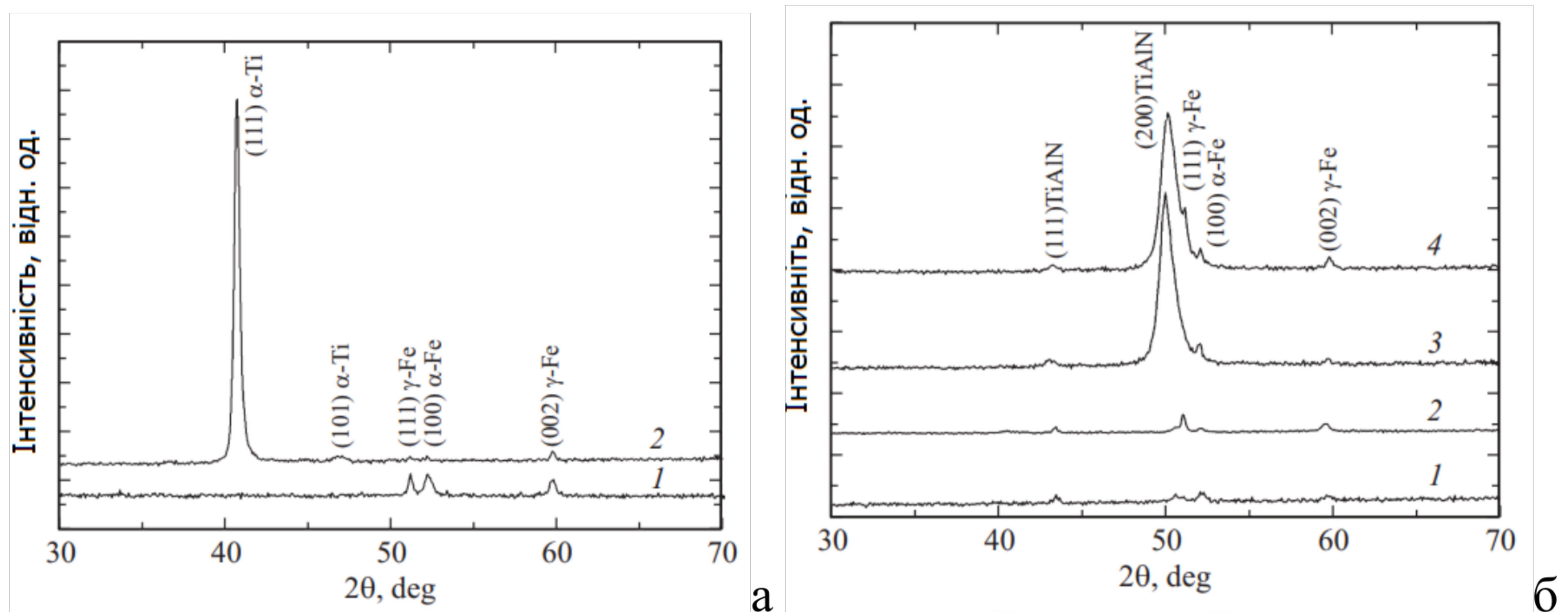


Рисунок 3.4 – Рентгенограми підкладки зі сталі 12X18H9T до (1) та після (2) іонної обробки на протязі 12 хвилин (а); рентгенограми покриттів TiAlN, нанесених на підкладки в вихідному стані (1) та попередньо оброблені іонами Ti+ на протязі 1 (2), 6 (3) та 12 хвилин (4) (б)

Рентгенофазовим аналізом (РФА) основи встановлено вміст у ній сполук заліза, хрому і нікелю. Енергодисперсійний аналіз поперечного, перетину показує наявність заліза - 80,34 %, хрому - 2,7 % і нікелю - 6,97 % і ін., що відповідає складу нержавіючої сталі 12X18H9T.

На рентгенограмі покриття, нанесеного на підкладку в початковому стані, присутні піки TiAlN (111) і (200), які свідчать про те, що його основною фазою є ГЦК-фаза TiAlN (рис. 3.4, б). При цьому спостерігається слабковиражена текстура (111). З положення рентгенівських піків видно, що параметр решітки фази TiAlN становить 0,418 нм. Це значення є проміжним між параметрами решіток ГЦК-фаз AlN (0,408 нм) і TiN (0,424 нм) і відповідає кристалічній решітці нітриду титану, в якій алюміній частково заміщає титан. У разі покриттів, нанесених на підкладки, що були піддані іонній обробці, спостерігається істотне зростання інтенсивності рентгенівського піку TiAlN (200), тобто відбувається зміна їх переважної орієнтації (рис. 3.4, б). Даний ефект особливо виражений після іонної обробки підкладки протягом 6 і 12 хвилин, коли покриття TiAlN набувають сильну текстуру (200). Крім того,

збільшення тривалості іонного бомбардування підкладки призводить до зрушення піків TiAlN в напрямку менших кутів дифракції 2θ , що веде до зростання параметра решітки покриття (див. таблицю 3.1).

Так, при обробці підкладки протягом 1 хвилини параметр решітки фази TiAlN становить 0,419 нм, а після бомбардування протягом 6 і 12 хвилин він збільшується до 0,421 і 0,422 нм відповідно. Слід також зазначити, що на рентгенограмах покриттів відсутні піки Ti, які спостерігалися при дослідженні підкладки, підданої іонній обробці.

При проведенні досліджень з допомогою просвічувальної електронної мікроскопії були отримані такі результати. На рисунку 3.5 показані ПЕМ-зображення поперечного перерізу покриттів TiAlN, нанесених на підкладки, піддані іонному бомбардуванню протягом 1 і 12 хвилин.

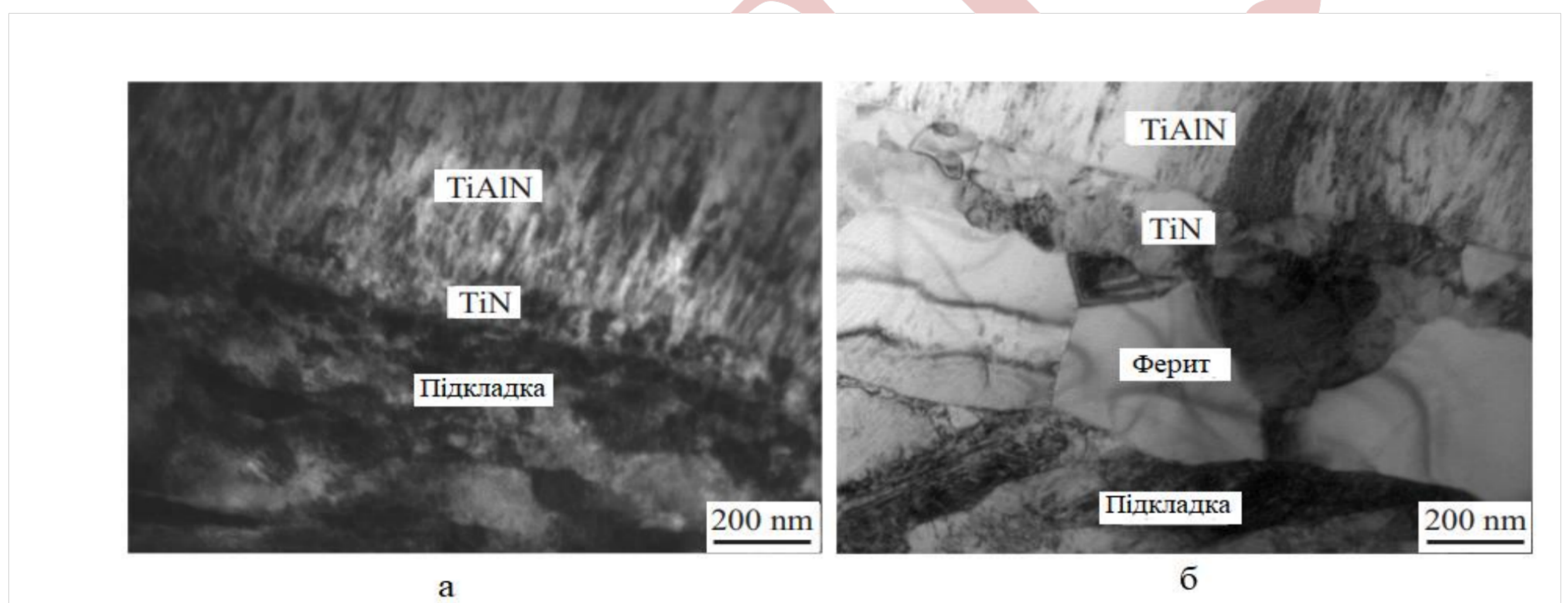


Рисунок 3.5 – ПЕМ-зображення області, прилягаючої до межі поділу між покриттям TiAlN та сталеву підкладкою, що піддавалась іонному бомбардуванню протягом 1 (а) та 12 хвилин (б)

Як видно з рисунка 3.5, в обох випадках між покриттям і підкладкою формується перехідний шар з рівновісною зерненою структурою, товщина якого становить 100 і 200 нм відповідно. Шляхом аналізу картинок мікродифракції встановлено, що даний шар є TiN. Важливим результатом бомбардування сталеву підкладки іонами Ti є зміна структури її поверхневого шару, яка найбільш виражена після обробки протягом 12 хвилин. В даному

шарі товщиною ~ 400 нм формуються феритні зерна розміром близько 300-400 нм (рис. 3.5, б).

Покриття TiAlN, нанесені на сталеві підкладки в початковому стані (рис. 3.6, а) і після іонної обробки протягом 1 хвилини, характеризуються стовбчастою структурою з похилими межами зерен (рис. 3.6, б), які обумовлюють сильну неоднорідність поперечного розміру зерен в залежності від відстані до межі поділу з підкладкою.

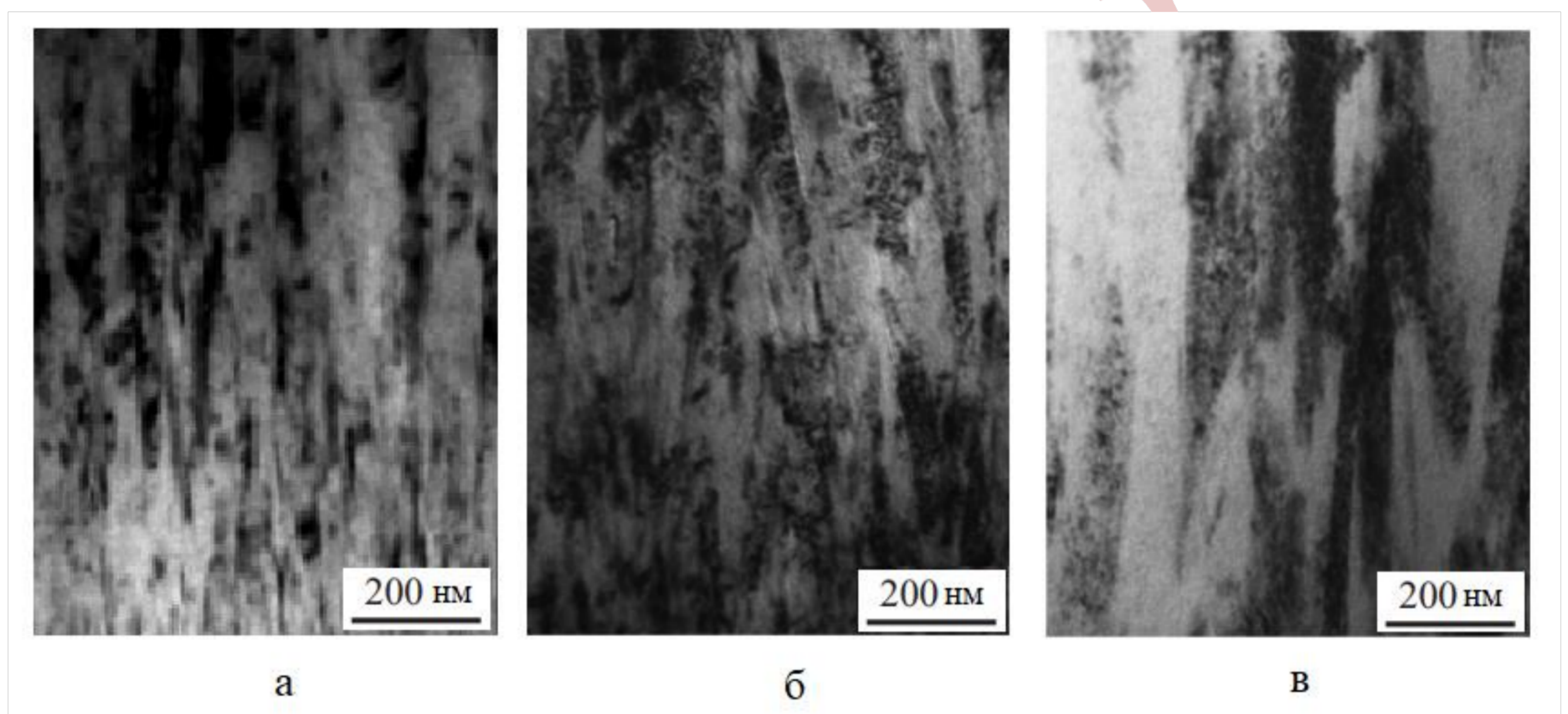


Рисунок 3.6 – ПЕМ-зображення поперечних перерізів покриття TiAlN, нанесеного на сталеву підкладку у вихідному стані (а), покриття TiAlN, нанесеного на підкладку зі сталі 12X18H9T після іонної обробки протягом 1 хвилини (б), покриття TiAlN, нанесеного на підкладку зі сталі 12X18H9T після іонної обробки протягом 12 хвилин (в)

Поблизу межі поділу TiAlN/TiN поперечний розмір зерен в даних покриттях складає 30-40 нм, збільшуючись до 150-200 нм поблизу вільної поверхні. У разі бомбардування підкладки іонами Ti протягом 6 і 12 хвилин покриття TiAlN мають більш однорідну стовбчасту структуру (рис. 3.6, в) з поперечним розміром зерен 80-100 нм біля межі розділу TiAlN/TiN і 100-120 нм поблизу поверхні. Межі зерен в цих покриттях орієнтовані переважно в сторону зростання, тобто перпендикулярно межі розділу покриття/підкладка.

Аналіз картин мікродифракції, отриманих з областей, що знаходяться в центрі поперечного перерізу покриттів TiAlN, виявив у всіх досліджуваних зразків наявність рефлексів від площин (111), (200) та (220) (рис. 3.7).

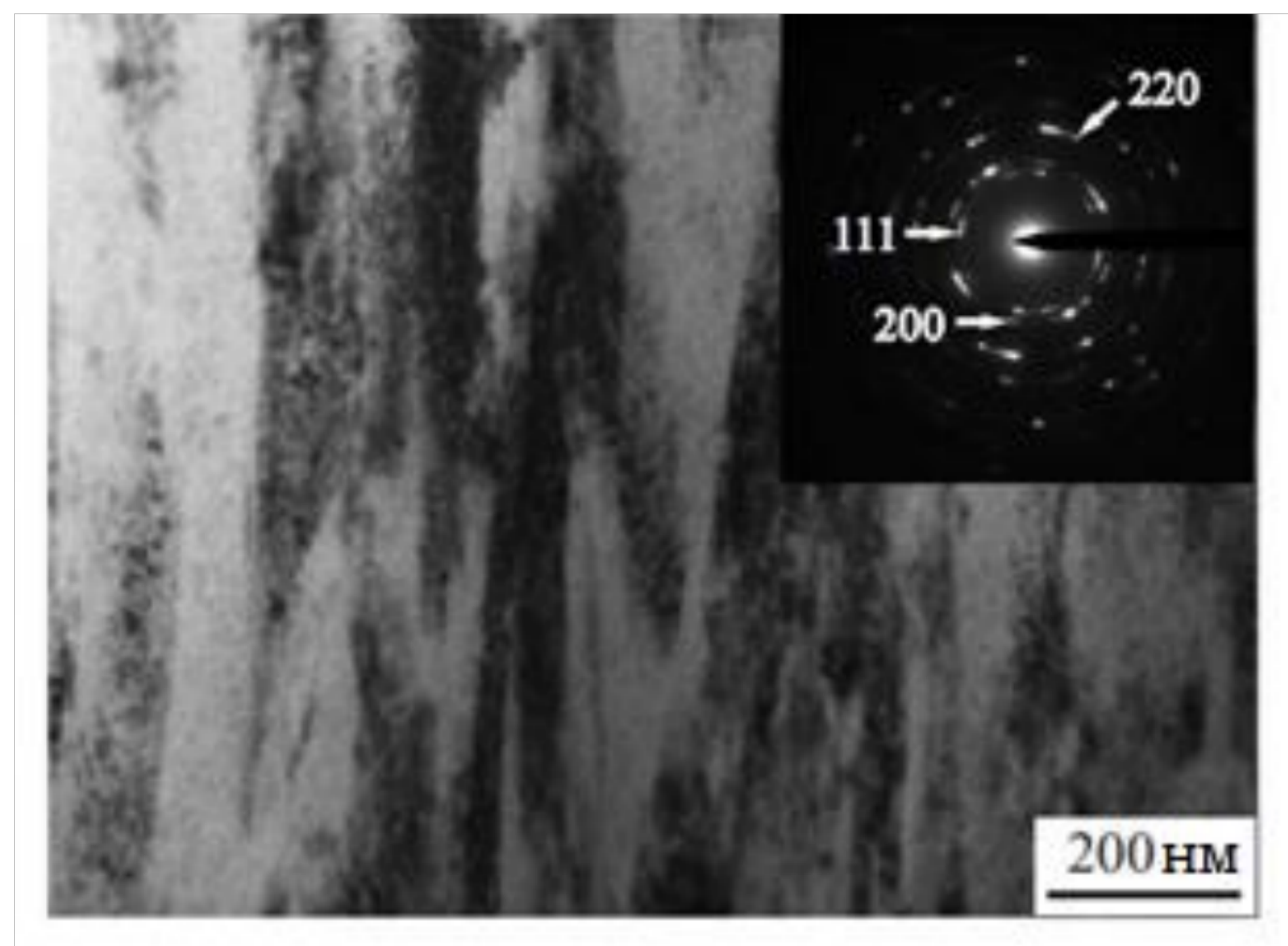


Рисунок 3.7 – ПЕМ-зображення поперечного перерізу покриття TiAlN, нанесеного на підкладку зі сталі 12X18H9T після іонної обробки протягом 12 хвилин. На картині мікродифракції стрілками вказані рефлекси, що притаманні відповідним площинам решітки TiAlN

Вивчення морфології поверхні покриттів TiAlN методом АСМ показало, що всі досліджені зразки характеризуються дрібнозернистим рельєфом поверхні (рис. 3.8). Видно, що покриття TiAlN складається з нерівноосних кристалитов, які формують агломерати. Середній розмір зерен на поверхні покриття не залежить від тривалості обробки іонним пучком Ti і становить 250-300 нм.

Як видно з отриманих даних, всі досліджені покриття володіють приблизно однаковою шорсткістю. Деяке зниження шорсткості має місце тільки у покриттів, нанесених на підкладку, піддану іонній обробці протягом 1 хвилини. Значення середньоквадратичної шорсткості поверхні, отримані з аналізу АСМ-зображень розміром $2 \times 2 \mu\text{m}$, наведені в таблиці 3.1.

Дослідження механічних характеристик покриттів TiAlN показало, що збільшення тривалості попередньої обробки підкладки зі сталі 12X18H9T іонними пучками призводить до зростання твердості покриттів.

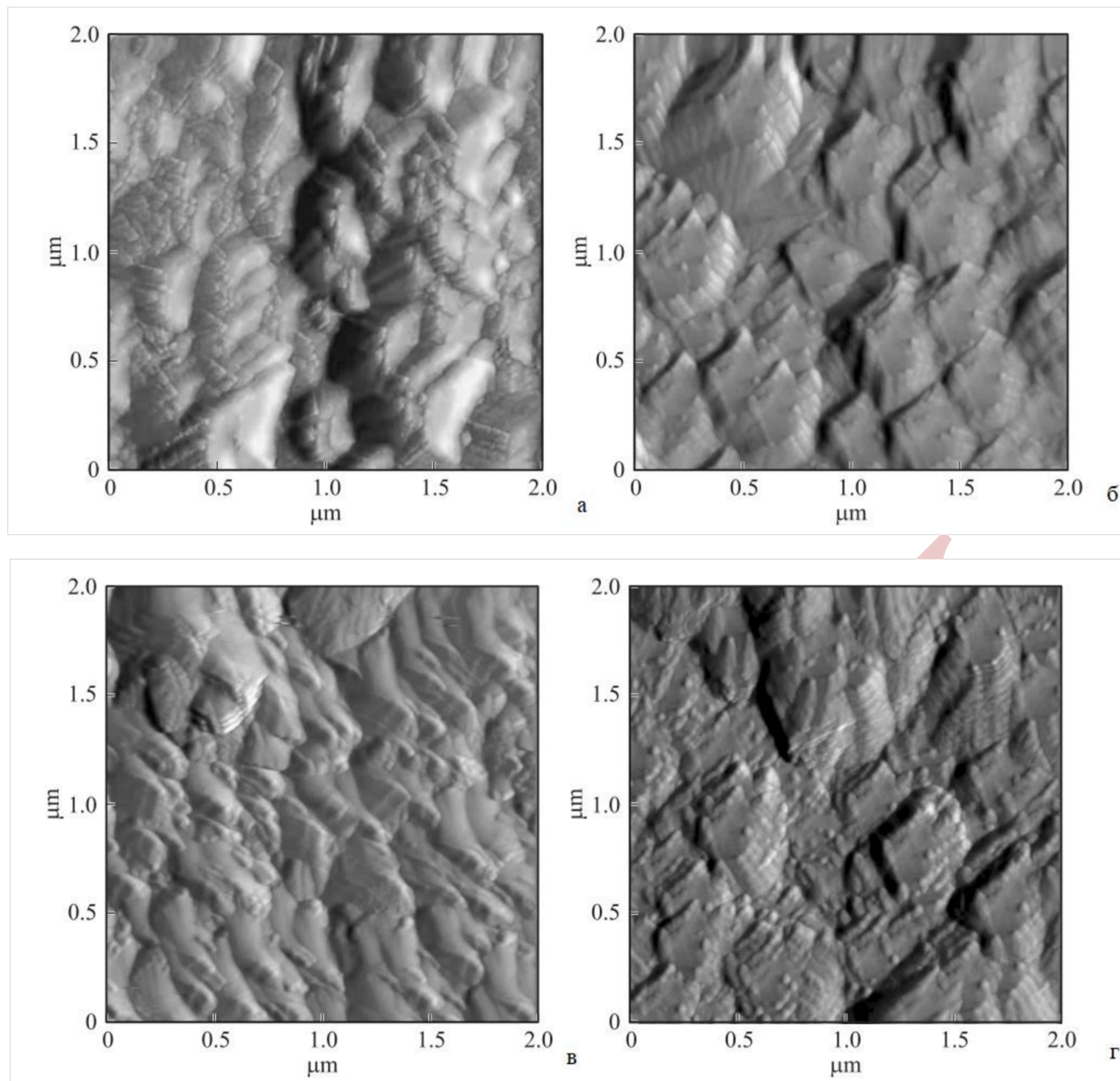


Рисунок 3.8 – АСМ-зображення поверхні покриттів TiAlN, нанесених на підкладки зі сталі 12X18H9T у вихідному стані (а) та оброблені іонами Ti протягом 1 (б), 6 (в) та 12 хвилин (г)

Як видно з таблиці 3.1, твердість покриття TiAlN, нанесеного на підкладку після іонного бомбардування протягом 12 хвилин, приблизно в 1,3 рази вище, ніж твердість покриттів на вихідній підкладці.

Таблиця 3.1

Результати досліджень

Тривалість іонного бомбардування підкладки, хвилини	Параметр решітки (a), нм	Середньоквадратична шорсткість поверхні (Rq), нм	Твердість (H _μ), ГПа
Без покриття, вихідний зразок	0,418	22	20,8
1	0,419	16	22,6
6	0,421	21	26,6
12	0,422	22	27,1

Бомбардування підкладки зі сталі 12X18H9T іонами Ti призводить до модифікації її поверхневого шару і формування на ній тонкої плівки Ti, яка трансформується в TiN після заповнення робочої камери азотом [88]. Утворення даної плівки, а також істотне підвищення температури підкладки після її іонної обробки викликають зміну структури покриттів, також зміну величини і знака залишкових напружень, що, в свою чергу, обумовлює підвищення твердості покриттів TiAlN.

3.5 Аналіз результатів і їх обговорення

Згідно з даними рентгенівського мікроаналізу, всі досліджені покриття, включаючи зразок без попередньої обробки підкладки, представляють собою з'єднання $Ti_xAl_{1-x}N$, де $x \sim 0,55$. Відповідно до результатів робіт [87, 88] для такого співвідношення концентрацій титану і алюмінію параметр решітки твердого розчину TiAlN повинен складати 0,420-0,421 нм. Ймовірною причиною зменшення розміру параметра решітки покриття TiAlN, нанесеного на вихідну підкладку (0,418 нм), можуть бути розтягуючі напруги, що діють в площині покриття, які призводять до стиснення кристалічної решітки в напрямку нормалі до зазначеної площині [87, 88].

З огляду на те, що на зміну параметра решітки покриттів можуть впливати цілий ряд факторів (внутрішні напруги, неоднорідність структури, хімічного і фазового складу покриттів, наявність дефектів та ін.), визначити точне значення розтягуючих напруг не представляється можливим. Оскільки хімічний склад всіх покриттів однаковий, збільшення параметра решітки фази TiAlN в покриттях, нанесених на підкладки, піддані іонній обробці, вказує на релаксацію в них розтягуючих напруг. Отримані результати свідчать про те, що іонна обробка підкладки призводить до зміни текстури покриттів TiAlN з (111) на (200). У загальному випадку, виникнення переважної орієнтації в покриттях пов'язано з тим, що в процесі росту їх структура формується таким чином, щоб забезпечити мінімізацію їх повної вільної енергії, яка залежить від співвідношення вкладів поверхневої енергії і енергії пружної деформації. Якщо

енергія пружної деформації покриття невелика, тобто в ньому немає сильних внутрішніх напружень, то основний внесок в збільшення вільної енергії в процесі формування покриття визначається його поверхневою енергією. Це сприяє зростанню зерен з такою орієнтацією, яка має мінімальну поверхневою енергією. Для TiN, структура якого аналогічна структурі ГЦК-фази TiAlN, мінімальну поверхневу енергію мають площині (100). У свою чергу, площини (111) характеризуються істотно вищою поверхневою енергією.

Тому якщо текстура покриттів визначається мінімізацією їх поверхневої енергії, то вони повинні мати переважну орієнтацію (200), що і спостерігається в разі покриттів, нанесених на підкладки, піддані іонному бомбардуванню протягом 6 і 12 хвилин. Однак якщо в покриттях розвиваються сильні напруги, то їх пружна енергія значно зростає. У цих умовах істотну роль у визначенні текстури грає анізотропія пружних властивостей в різних кристалографічних напрямках. Найменшу пружну енергію будуть накопичувати кристаліти з орієнтацією, яка відповідає мінімальному модулю пружності. Тому напруги в покриттях сприяють зростанню зерен саме з такою орієнтацією. У разі нітриду титану мінімальний модуль пружності відповідає площині (111). Таким чином, зміна переважної орієнтації в покриттях TiAlN з (111) на (200) підтверджує зроблений вище висновок про релаксацію внутрішніх напружень в покриттях, нанесених на підкладки, піддані іонному бомбардуванню. Тобто одним наслідком іонної обробки підкладки є зміна зерен структури покриттів. Можна вважати, що вона обумовлено двома факторами. По-перше, в процесі іонного бомбардування відбувається суттєвий нагрів підкладки, інтенсивність якого вище в разі тривалої обробки (6 і 12 хвилин), а температура досягає максимуму поблизу поверхні підкладки. Подібна зеренна структура характерна для покриттів TiAlN, нанесених на необроблену підкладку, а також при обробці протягом 1 хвилини.

Підвищення температури підкладки, яке має місце при обробці тривалістю 6 і 12 хвилин, забезпечує збільшення дифузійної рухливості адатомів і зменшення числа зародків. В таких умовах зерна, які ростуть, можуть успадковувати орієнтацію підкладки, тобто формуватися за допомогою

епітаксійного росту. В результаті структура покриттів характеризується наявністю стовпчастих зерен, розділених щільними вертикальними межами. У досліджених покриттях TiAlN подібний механізм формування можливий через наявність проміжного підшару TiN, який є другим фактором, що обумовлює зміну зерен структури. Подібне епітаксіальне зростання, при якому стовпчасти зерна проростають через межу розділу між шарами TiN і TiAlN, раніше спостерігалось при нанесенні багат шарових покриттів TiAlN/TiN [87].

Формування проміжного шару TiN між покриттям і підкладкою, мабуть, є результатом азотування тонкої плівки Ti, що виникла в результаті іонного бомбардування підкладки. Осадження покриттів TiAlN відбувалося за допомогою розпилювання мішені Ti-Al в атмосфері азоту. Причому між закінченням іонного бомбардування підкладки і початком розпилення мішені був інтервал, тривалістю близько 5 хвилин, під час якого робоча камера заповнювалася азотом. Іонна обробка підкладки дозволила істотно підвищити твердість покриттів TiAlN. Відомо, що твердість покриттів TiAlN істотно залежить від відносного вмісту в них титану і алюмінію. Максимальна твердість досягається при концентрації Al близько 50% [87]. При подальшому збільшенні концентрації алюмінію починається різке зниження твердості покриттів, обумовлене формуванням ГПУ-фази AlN. Таким чином, хімічний склад досліджених покриттів, в яких концентрація алюмінію складає 45%, близький до оптимального для досягнення максимальної твердості. Твердість покриттів TiN і TiAlN зростає зі збільшенням в них стискаючих напруг [87]. Відповідно розтягуючі напруги надають протилежний ефект: чим вище їх величина, тим менше твердість покриттів. Тому однією з основних причин підвищення твердості покриттів TiAlN зі збільшенням тривалості іонної обробки підкладки є релаксація в них розтягуючих напруг. Іншими чинниками, які зумовлюють підвищення твердості покриттів після іонної обробки підкладки, можуть бути зміна їх зеренної структури і переважної орієнтації, а також модифікація поверхневого шару підкладки [87].

Висновки

Як попередню термічну обробку для корозійно-стійкої сталі 12X18H9T ми застосовуємо стабілізуючий відпал.

Аустенітні сталі доцільно застосовувати для конструкцій, що працюють при низьких температурах, так як мають високу холодостійкість і зберігають ударну в'язкість. Для таких сталей проводять аустенізацію при температурах 1050-1150 °С. Для сталі 12X18H9T проводимо аустенізацію при температурі 950-1050 °С.

Проведені дослідження показали, що попередня іонна обробка сталеві підкладки істотно впливає на структуру і механічні властивості покриттів TiAlN. Бомбардування підкладки іонами Ti призводить до модифікації її поверхневого шару і формування на ній тонкої плівки Ti, яка трансформується в TiN після заповнення робочої камери азотом. Утворення даної плівки, а також істотне підвищення температури підкладки після її іонної обробки викликають збільшення дифузійної рухливості атомів і сприяють епітаксійних росту стовпчастих зерен з прямими межами. Зміна характеру зростання призводить не тільки до зміни структури покриттів, але і до релаксації в них внутрішніх напружень. Це забезпечує підвищення твердості покриттів TiAlN в 1,3 рази в порівнянні з покриттями, нанесеними на необроблену підкладку.

РОЗДІЛ 4

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Економічні аспекти діяльності підприємства

Будь-яке комерційне підприємство основною метою своєї діяльності вважає отримання прибутку. Прибуток є одним з фінансових результатів діяльності підприємства і свідчить про його успішної діяльності, яка досягається, якщо доходи перевищують видатки. В зворотному випадку підприємство отримує збиток. Зростання прибутку визначає зростання потенційних можливостей підприємства, підвищує ступінь його ділової активності. За прибутком визначається частка доходів засновників і власників, розміри дивідендів та інших доходів [89].

Прибуток використовується також для розрахунку рентабельності власних і позикових коштів, основних засобів, всього авансованого капіталу і кожної акції. Однак прибуток є не тільки основною метою діяльності будь-якої комерційної організації, а й найважливішою економічною категорією [89].

Як економічна категорія прибуток підприємства відображає чистий дохід, створений у сфері матеріального виробництва. На рівні підприємства чистий дохід приймає форму прибутку [89].

Прибуток як економічна категорія виконує певні функції. Прибуток характеризує економічний ефект, отриманий в наслідок діяльності підприємства. Наявність прибутку на підприємстві означає, що його доходи перевищують всі витрати, пов'язані з його діяльністю [89].

Прибуток має стимулюючу функцію, одночасно будучи фінансовим результатом і основним елементом фінансових ресурсів підприємства. Частка чистого прибутку, що залишилася в розпорядженні підприємства після сплати податків та інших обов'язкових платежів, повинна бути достатньою для фінансування розширення виробничої діяльності, науково-технічного і соціального розвитку підприємства, матеріального заохочення працівників [89].

Існує декілька основних видів прибутку підприємства.

Валовий прибуток визначається як різниця між виручкою від продажу товарів, продукції, робіт, послуг (за мінусом ПДВ, акцизів і аналогічних обов'язкових платежів) і собівартістю проданих товарів, продукції, робіт і послуг. Розраховується за формулою [89]:

$$\Pi_{\text{вал}} = \text{ВР} - \text{С}$$

де ВР – виручка від реалізації;

С – собівартістю проданих товарів, продукції, робіт і послуг.

Прибуток від продажів являє собою валовий прибуток за вирахуванням управлінських і комерційних витрат [89]:

$$\Pi_{\text{пр}} = \Pi_{\text{вал}} - \text{Р}_y - \text{Р}_k$$

де Р_y – витрати на управління;

Р_k – комерційні витрати.

Прибуток до оподаткування – це прибуток від продажів з урахуванням інших доходів і витрат, які поділяються на операційні і позареалізаційні [89]:

$$\Pi_{\text{пдо}} = \Pi_{\text{пр}} \pm \text{С}_{\text{опв}} \pm \text{С}_{\text{нпв}}$$

де $\text{С}_{\text{опв}}$ – операційні прибутки й витрати;

$\text{С}_{\text{вдр}}$ – не реалізаційні прибутки й витрати.

Прибуток від звичайної діяльності може бути отриманий відніманням з прибутку до оподаткування суми податку на прибуток і інших аналогічних обов'язкових платежів (суми штрафних санкцій, що підлягають сплаті до бюджету та державних позабюджетних фондів) [89]:

$$\Pi_{\text{зд}} = \Pi_{\text{пдо}} - \text{Н}$$

де Н – сума оподаткування.

Чистий прибуток – це прибуток від звичайної діяльності з урахуванням надзвичайних доходів і витрат [89]:

$$\Pi_{\text{ч}} = \Pi_{\text{зд}} \pm \text{Н}_{\text{пв}}$$

де $H_{пв}$ – надзвичайні прибутки й витрати

На отримання прибутку підприємством найвагомніше впливають наступні фактори.

Собівартість продукції - виражені в грошовій формі поточні витрати підприємств на виробництво і реалізацію продукції (робіт, послуг) [89].

Собівартість продукції є якісним показником, так як вона характеризує рівень використання всіх ресурсів, що знаходяться в розпорядженні підприємства. Собівартість продукції конкретного підприємства визначається умовами, в яких воно діє. Така собівартість називається індивідуальною [89].

Витрати, що утворюють собівартість продукції (робіт, послуг), групуються відповідно до їх економічного змісту за такими елементами [89]:

- матеріальні витрати (за вирахуванням вартості зворотних відходів);
- витрати на оплату праці;
- відрахування на соціальні потреби;
- амортизація основних засобів;
- інші витрати.

Рентабельність продукції (норма прибутку) - це відношення загальної суми прибутку до витрат виробництва і реалізації продукції [89]:

$$P_n = \frac{Ц - С}{С} \times 100$$

де $Ц$ – ціна одиниці продукції;

$С$ – собівартість одиниці продукції.

Рентабельність виробництва (загальна) - показує відношення загальної суми прибутку до середньорічної вартості основних і нормованих оборотних коштів [89]:

$$P_o = \frac{П}{ОС_{ср} + ОбС_{ср}} \times 100$$

де $П$ – сума прибутку;

$ОС_{ср}$ – середньорічна вартість основних коштів;

$ОбС_{ср}$ – середньорічні залишки оборотних коштів.

Цей показник характеризує ефективність виробничо-господарської діяльності підприємства, відображаючи при якій величині використаного капіталу отримана дана маса прибутку [89].

За допомогою рентабельності продукції оцінюють ефективність виробництва окремих видів виробів, а рентабельність виробництва, або загальна, балансова рентабельність, служить показником ефективності роботи підприємства (галузі) в цілому [89].

Продуктивність праці - це кількість продукції, виробленої за певний період в розрахунку на одного працівника, або витрати робочого часу на одиницю продукції. Продуктивність праці - це не тільки один з найважливіших показників ефективності виробництва, а й показник, який має велике економічне і соціальне значення на макрорівні [89].

4.2 Розрахунок вартості процесу нанесення покриттів на сталь 12X18H9T

Аби обґрунтувати економічну ефективність нанесення покриттів TiN та TiAlN, осаджених за допомогою методу магнетронного напилення на установці ВУП-5М, було проведено дослідження на зразках зі сталі 12X18H9T.

Параметри магнетронної системи ВУП-5М [72]:

- швидкість осадження покриттів - 10-60 нм/с;
- тиск у робочій камері - $(5-50) \cdot 10^{-2}$ Па і вище;
- ефективність процесу генерації (по міді) - $3 \cdot 10^{-6}$ г/Дж;
- питома швидкість розпилення - $(4-40) \cdot 10^{-5}$ г/(см²·с);
- енергія генеруючихся частинок - 10-20 еВ;
- енергія зарожених частинок - 0,2-10,0 еВ;
- вартість устаткування – 30000 грн;
- площа, яку займає устаткування – 5,25 м²;

Розрахувати вартість матеріалу для зразка можна за наступною формулою [89]:

$$C_m = (Q \cdot C_m) \cdot a$$

де Q – маса заготовки (0,15 кг);

C_m – ціна матеріалу заготовки (~85 грн);

a – коефіцієнт, що враховує витрати на термообробку (умовно приймаємо 1,4).

Отже, враховуючи значення всіх змінних маємо, що вартість матеріалу для зразка коштує [89]:

$$C_m = (0,15 \cdot 85) \cdot 1,4 = 17,85 \text{ (грн.)}$$

Заробітну плату виробничого робітника (з урахуванням усіх виплат) розраховуємо за наступною формулою [89]:

$$Z_p = C_q \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot t_{шт.} / 60 \cdot K_{мн} \cdot n$$

де C_q – годинна тарифна ставка відповідного розряду, грн. (приймаємо IV розряд: ставка 20 грн./год.);

K_1 – коефіцієнт, що враховує додаткову зарплату (приймаємо $K_1 = 1,7$);

K_2 – коефіцієнт, що враховує багатостатне обслуговування (приймаємо $K_2 = 1,395$);

$t_{шт.}$ – час на операцію для однієї заготовки (партії), хв.;

$K_{мн}$ – коефіцієнт, що враховує обслуговування кількома одиницями обладнання; приймаємо $K_{мн} = 1$;

n – кількість одиниць обладнання на даній операції, шт.

Отже, заробітна плата робітника в процесі магнетронного напилення буде становити [89]:

при нанесенні покриттів типу TiN

$$Z_p = 20 \cdot 1,7 \cdot 1,395 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1 = 23,72 \text{ (грн.)}$$

при нанесенні покриттів типу TiAlN

$$Z_p = 20 \cdot 1,7 \cdot 1,395 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 = 35,57 \text{ (грн.)}$$

Розрахувати амортизаційні витрати на обладнання, можна наступним чином [89]:

$$A_0 = \frac{S_0 \cdot K \cdot a \cdot n}{N_{\text{год}} \cdot 100}$$

де S_0 – вартість одиниці обладнання, грн.;

K – коефіцієнт, що враховує витрати на транспортування і монтаж устаткування; приймаємо $K = 1,20$;

a – норма амортизаційних відрахувань (10% від вартості обладнання);

n – кількість одиниць обладнання на даній операції, шт.;

$N_{\text{год}}$ – річна програма експериментальних зразків (1000 шт.).

$$A_0 = \frac{30000 \cdot 1.20 \cdot 3000 \cdot 1}{1000 \cdot 100} = 1080 \text{ (грн)}$$

Витрати на ремонт обладнання розраховуємо за наступною формулою [89]:

$$P = A_0 \cdot K$$

де K – коефіцієнт, що встановлює залежність величини витрати на ремонт від величини амортизаційних відрахувань (20%).

$$P = 1080 \cdot 2 = 2160 \text{ (грн.)}$$

За наступною формулою розраховуємо витрати на утримання виробничої площі [89]:

$$P_{\text{утр.}} = \frac{S_{\text{пл}} \cdot K \cdot n \cdot P}{N_{\text{річ.}}}$$

де $S_{\text{пл}}$ – площа, яку займає одиниця обладнання, м²;

K – коефіцієнт, що враховує додаткову площу під проходи і проїзди;

n – кількість одиниць обладнання, шт.;

P – річна норма витрат за утримання одного метра квадратного виробничої площі, грн. (200 грн.);

$N_{\text{річ.}}$ – річна програма зразків, шт.

$$P_{\text{утр.}} = \frac{5.25 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 200}{1000} = 3.15 \text{ (грн)}$$

Отримані результати заносимо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Технологічна вартість процесу нанесення покриттів, грн

Найменування витрат	TiN	TiAlN
Заробітна плата виробничого працівника	23,75	35,57
Амортизаційні витрати на обладнання	1080	1080
Витрати на ремонт обладнання	2160	2160
Витрати на утримання виробничої площі	3,15	3,15
Загальна сума витрат	3266,90	3278,72

Із розрахунків зроблено висновок, що собівартість нанесення покриття TiN нижча за собівартість нанесення покриття TiAlN за рахунок витрат на заробітну плату для виробничого працівника і матеріали. Але введення алюмінію в покриття на основі нитриду титану призводить до підвищення корозійної стійкості, забезпечує підвищення твердості та зносостійкості сталі 12X18H9T.

Висновки

Головними аспектами економічної ефективності діяльності підприємства є: собівартість продукції, продуктивність праці, рентабельність продукції та рентабельність виробництва.

Собівартість продукції – виражені в грошовій формі поточні витрати підприємств на виробництво і реалізацію продукції (робіт, послуг).

Продуктивність праці – це кількість продукції, виробленої за певний період в розрахунку на одного працівника, або витрати робочого часу на одиницю продукції.

Рентабельність продукції (норма прибутку) – це відношення загальної суми прибутку до витрат виробництва і реалізації продукції.

Рентабельність виробництва (загальна) показує відношення загальної суми прибутку до середньорічної вартості основних і нормованих оборотних коштів.

Для визначення вартості дослідницької роботи (магнетронне напилення захисних TiN та TiAlN покриттів) було проведено наступні розрахунки:

- заробітна плата виробничого працівника;
- амортизаційні витрати на обладнання;
- витрати на ремонт обладнання;
- витрати на утримання виробничої площі;

Із розрахунків зроблено висновок, що собівартість нанесення покриття TiN нижча за собівартість нанесення покриття TiAlN за рахунок витрат на заробітну плату для виробничого працівника і матеріали. Але введення алюмінію в покриття на основі нитриду титану призводить до підвищення корозійної стійкості, забезпечує підвищення твердості та зносостійкості сталі 12X18H9T.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ, ДОВКІЛЛЯ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

5.1 Основні положення з охорони праці

Охорона праці - система збереження життя, здоров'я і працездатності працівників у процесі трудової діяльності, що включає в себе правові, соціально-економічні, організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні, реабілітаційні та інші заходи [90].

Характерною національною особливістю охорони праці в нашій країні є те, що рівень професійної захворюваності та травматизму зберігається неприйнятно високим [90] в той час як більша частина професійних захворювань і нещасних випадків без смертельного результату не реєструється; рівень смертності населення працездатного віку в 4 рази вище, ніж в ЄС, і в 2 рази вище ніж в країнах, що розвиваються. За оцінками експертів МОП від поганих умов праці в країні щорічно вмирає 140 тис. осіб. Держава не проводить адекватного стимулювання роботодавців покращувати умови праці [90].

Головним законом України в сфері охорони праці є Закон України «Про охорону праці» [91].

Основні вимоги, які має виконати підприємство:

- створити службу охорони праці [91];
- розробити і затвердити на підприємстві положення, інструкції та інші акти з охорони праці [91];
- організувати проведення інструктажів з питань охорони праці [91];
- забезпечити навчання та перевірку знань з питань охорони праці [91];
- подбати про проведення медичних оглядів [91];
- забезпечити працівників засобами індивідуального захисту, милом, молоком, солоною водою та інше [91];
- провести атестацію робочих місць [91];
- налагодити облік нещасних випадків [91];

Основу системи охорони праці становлять наступні аспекти [92]:

– управління безпекою праці - організація роботи по забезпеченню безпеки, зниження травматизму і аварійності, професійних захворювань, поліпшення умов праці на основі комплексу завдань по створенню безпечних і нешкідливих умов праці. Заснована на застосуванні законодавчих нормативних актів в галузі охорони праці [92];

– виробнича санітарія визначається як система організаційних заходів і технічних засобів, що запобігають або зменшують вплив на працюючих шкідливих виробничих факторів [92];

– гігієна праці характеризується як профілактична медицина, що вивчає умови і характер праці, їх вплив на здоров'я і функціональний стан людини і розробляє наукові основи і практичні заходи, спрямовані на профілактику шкідливої і небезпечної дії факторів виробничого середовища і трудового процесу на працюючих [92];

– промислова безпека - стан захищеності життєво важливих інтересів особистості і суспільства від аварій на небезпечних виробничих об'єктах і наслідків зазначених аварій. У свою чергу охорона праці, електробезпека, промислова безпека, пожежна безпека є складовими частинами [92];

– пожежна безпека - стан захищеності особистості, майна товариства і держави від пожеж [92];

– електробезпека - стан захищеності працівника від шкідливого і небезпечного впливу електроструму, електродуги, електромагнітного поля і статичної електрики [92];

– безпека життєдіяльності - наука про комфортну й безпечну взаємодію людини з техносферою [92];

– управління професійними ризиками. Методи управління людьми і організаціями, що дозволяють знизити ризики травмування або захворювання працюючих, включаючи обмеження, зниження, передачу та усунення ризику [92].

5.2 Техніка безпеки при термічній обробці металів

Термічна обробка металів передбачає гартування, нормалізацію, відпал і відпуск, при яких існує небезпека опіків працюють у нагрівальних печей і гартівних ваннах [93].

Крім того, при використанні електричних нагрівальних печей і постів існує небезпека ураження електричним струмом. Тому при обслуговуванні електричних нагрівальних установок необхідно дотримуватись заходів електробезпеки [93].

Гартівні ванни з мінеральною олією, гасом, свинцем, різними солями при нагріванні виділяють в навколишнє повітря шкідливі пари і газу. Тому, як правило, все гартівні ванни обладнуються місцевою вентиляцією у вигляді відсмоктувачів. Крім того, в приміщенні термічної обробки повинна бути загально обмінна вентиляція. Підвищеної пожежо- та вибухонебезпечність відрізняються печі, що працюють на газовому паливі, експлуатація яких повинна вестися з дотриманням Правил безпеки в газовому господарстві, затверджених Держмістотехнаглядом [93].

При загартуванню в маслі і гасі існує небезпека займання їх парів, оскільки вони нагріваються занурювані в ванни металом. Масло і гас охолоджують в теплообмінниках. Температура масла у ванні не повинна перевищувати 85, а гасу 38 °С. Застосовуваний для загартування гас повинен мати температуру спалаху парів не нижче 45 °С. Зазвичай температура масла або гасу регулюється автоматично на заданому рівні. Завантаження гарячих деталей у ванни слід проводити обережно, щоб уникнути вихлюпування рідин і можливих при цьому опіків. В процесі травлення оброблюваних виробів необхідно вживати заходів проти хімічних опіків [93].

Спеціальні заходи безпеки при використанні ванн з різними розплавленими солями враховують фізико-хімічні властивості солей. Свинцеві ванни виділяють шкідливі пари свинцю. Для зменшення випаровування свинцю дзеркало ванни покривають шаром деревного вугілля. Небезпечно завантажувати в ванну вологі деталі, так як при цьому внаслідок пароутворення

можливий викид розплавленого свинцю. Деталі й застосовувані інструменти повинні бути сухими [93].

Соляні ванни завантажують солями, попередньо просушеними, поступово, малими порціями і не більше ніж на 3/4 об'єму ванни. У розплавлену сіль також неприпустиме попадання вологи. При тимчасову зупинку печі, розігріваної соляну ванну, може статися застигання солі з утворенням на поверхні твердої кірки. Неприпустимо пробивати кірку щоб уникнути вихлюпування розплавленої солі і можливого при цьому опіку [93].

Селітрові ванни являють собою підвищену небезпеку щодо можливості вибуху селітри в разі її перегріву і з'єднання з маслом, алюмінієм і органічними речовинами. Температура розплаву селітри не повинна перевищувати 600 ° С. Зберігати селітру потрібно в металевих ящиках з кришками. У місцях зберігання селітри повинні бути первинні засоби вогнегасіння [93].

5.3 Вимоги до персоналу термічних цехів

До виконання технологічних процесів термічної і хіміко-термічної обробки металів не допускаються особи молодше 18 років. Всі працівники термічних цехів повинні піддаватися попередньому (під час вступу на роботу), а потім періодичним медичним оглядам згідно з чинним законодавством [93];

Всі працівники термічних цехів повинні проходити навчання безпеки праці відповідно до ГОСТ 12.0.004 [93].

Працівники термічних цехів, що обслуговують газоприготувальні, лазерні установки, установки ТВЧ, печі з контрольованими атмосферами і горючими газами, печі - ванни з отруйними речовинами, а також виконують інші роботи підвищеної небезпеки, повинні проходити спеціальне навчання і перевірку знань з отриманням відповідних посвідчень [93].

Для працівників, які виконують роботи підвищеної небезпеки, періодична перевірка знань повинна проводитися не рідше одного разу на рік комісією, затвердженою роботодавцем [93].

Керівники і фахівці перед допуском до самостійної роботи, пов'язаної з проектуванням, будівництвом, реконструкцією та експлуатацією термічних цехів, повинні скласти іспит на знання цих Правил в обсязі виконуваної ними роботи. Керівники і фахівці, пов'язані з експлуатацією технологічного обладнання термічних цехів, крім того, повинні скласти іспит на знання інструкцій з охорони праці, технологічних інструкцій та інших, що належать до їхніми поділами роботи [93].

Керівники і фахівці повинні не рідше одного разу на три роки здавати іспити на знання правил та інструкцій з охорони праці [93].

Електротехнічний персонал (електромонтери, техніки), обслуговуючий електротермічні установки, повинен мати групу з електробезпеки не нижче IV при роботі з установками напругою вище 1000 В і III при установках напругою до 1000 В, а всі оператори-термісти - відповідно не нижче III при установках напругою вище 1000 В і II при установках напругою до 1000 В [93].

5.4 Вимоги до застосування засобів індивідуального захисту

Для запобігання працівників від дії небезпечних і шкідливих виробничих факторів при існуючій технології та умовах робіт необхідне застосування засобів індивідуального захисту. На роботах з шкідливими умовами праці, на роботах, вироблених в особливих температурних умовах або пов'язаних із забрудненням, спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту видаються працівникам безкоштовно [93].

Працівники, зайняті в процесі термічної обробки металів, забезпечуються засобами індивідуального захисту відповідно до діючих «Типових галузевих норм безплатної видачі робітникам і службовцям спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту» і «Інструкцією про порядок забезпечення робітників і службовців спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту» [93].

Засоби індивідуального захисту, що застосовуються працівниками при термообробці металів, повинні задовольняти вимогам відповідних стандартів ССБТ [93].

При виборі засобів індивідуального захисту для осіб, які працюють із застосуванням хімічних речовин, слід керуватися методичними вказівками «Засоби колективного та індивідуального захисту, поточний і попереджувальний санітарний нагляд за застосуванням засобів індивідуального захисту працюючих з хімічними шкідливими речовинами» [93].

Керівники ділянок повинні періодично інструктувати працівників щодо правильного застосування засобів індивідуального захисту і догляду за ними [93].

Дані про найбільш поширених промислових фільтруючих протигазах і рекомендації, якими необхідно керуватися при виборі марки протигаза, наводяться в додатку № 15. Вибір протигаза проводиться також за каталогом-довідником «Засоби індивідуального захисту працюючих на виробництві» [93].

Адміністрація зобов'язана забезпечувати зберігання, прання, сушку, дезінфекцію, дегазацію, дезактивацію і ремонт виданих працівникам спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту [93].

Для заміни спецодягу, що здається працівниками в прання або ремонт, в організації повинен бути запас комплектів спецодягу [93].

На ділянках ціанування, свинцевих ванн і рідинного азотування термічного цеху слід передбачати заходи, що виключають можливість винесення працівниками спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту за межі цеху і виходу працівників цих ділянок у спецодязі [93].

Спецодяг, спецвзуття та інші засоби індивідуального захисту працівників ділянок ціанування, рідинного азотування і свинцевих ванн повинні зберігатися окремо від засобів індивідуального захисту працівників інших ділянок термічних цехів [93].

5.5 Техніка безпеки при проведенні процесу магнетронного напилення

Безпечна експлуатація установки магнетронного напилення включає в себе наступні аспекти:

- пожежна безпека [94];
- електробезпека [95];
- засоби безпеки при роботі з газовими балонами [96];

5.5.1 Пожежна безпека

Пожежна безпека в даному технологічному процесі забезпечується дотриманням норм ГОСТ 12.1.004-98. «Пожежна безпека. Загальні вимоги». У зв'язку з цим робоче приміщення оснащується засобами пожежогасіння. У спеціально відведених місцях встановлюються: вогнегасники, пісок, щит з ломом, лопатами, сокирами. Виробництво відноситься до категорії «Д» по пожежонебезпеці [94].

Однією з важливих умов успішної ліквідації пожежі, що виникла є швидке виявлення загоряння і негайне повідомлення про це місцеву пожежну охорону [94].

Для повідомлення про пожежу в робочих приміщеннях служить спеціальна пожежна сигналізація. Пожежа, тобто процес горіння, можна усунути шляхом припинення доступу повітря до палаючого предмету або зниження його температури горіння. У засобах гасіння пожежі використовують два методи одночасно [94].

Протипожежне водопостачання забезпечується пристроєм спеціального водопроводу. При необхідності допускається водопостачання з водоймищ і резервуарів. При водопостачанні з водопроводу, пожежні рукави приєднуються до гідрантів, які повинні влаштовуватися на відстані не більше 100 метрів від робочих приміщень [94].

Серед автоматичних засобів пожежогасіння на виробничих підприємствах найбільш поширені спринклерні і дренчерні установки. Вони

являють собою розгалужену розподільну водогінну мережу з розпилювачами водяних струменів або повітряно механічної піни за допомогою спринклерних або дренчерних головок. Спринклерна розпилювальна головка являє собою блок з отвором, закритим скляним ковпаком (клапаном), утримуваним замком, виготовленим з легкоплавкого металевого сплаву [94].

При підвищенні температури повітря, нагрітого полум'ям пожежі, що почалася, внаслідок розплавлення сплаву замок розплавляється і звільняє клапан, через який вода, потрапляючи на розетку, розпорошується і зрошує палаюче речовина. Застосовують сплав замка з температурою плавлення 72, 93, 141, 182 °С, в залежності від умов можливого загоряння. Одночасно за допомогою контрольно-сигнального апарату подається звуковий сигнал, що сповіщає про пожежу [94].

Автоматичне включення установки в роботу здійснюється від датчиків, які реагують на фактори пожежі (тепло, світло, дим). Крім основного, установка обладнана допоміжним водоживильником, що забезпечує постійний тиск води в системі [94].

Контрольно-пусковий вузол призначений для включення подачі води в установку, автоматичне приведення в дію звукових і світлових сигналів про початок пожежі [94].

5.5.2 Електробезпека

Небезпека ураження електричним струмом при дотику до корпусу та інших металевих частин обладнання, що опинилися під напругою внаслідок замикання на корпусі і з інших причин, може бути усунена швидким відключенням пошкодженої установки від мережі живлення і разом з тим зниженням напруги корпусу щодо землі. Занулення - навмисне електричне з'єднання з електричними провідниками металевих неструмоведучих частин, які можуть опинитися під напругою [95].

Нульовим захисним провідником називається провідник, що з'єднує зануляемі частини обладнання з глухозаземленою нейтральною точкою джерела струму або її еквівалентом [95].

Причини необхідності занулення – перетворення замикання на корпус в однофазне коротке замикання (тобто між фазними і нульовим захисним провідниками) з метою викликати великий струм, здатний забезпечити спрацьовування захисту і тим самим автоматично відключити пошкоджену установку від мережі живлення. Таким захистом є плавкі запобіжники і максимальні автомати, що встановлюються для захисту від струмів короткого замикання, магнітні пускачі з вбудованим тепловим захистом, контактори в поєднанні з тепловими реле, які здійснюють захист від перевантаження, автомати з комбінованими розподільниками, які здійснюють захист одночасно від струмів короткого замикання і перевантаження [95].

Крім того, оскільки корпусу (або інші неструмовідні металеві частини, які опинилися під напругою) заземлені через нульовий захисний провідник, то в аварійний період, тобто з моменту виникнення замикання на корпус і до автоматичного відключення пошкодженої електроустановки від мережі, проявляється захисна властивість цього заземлення, подібно до того, як це має місце при захисному заземленні. Інакше кажучи, заземлення корпусів через нульовий провідник знижує в аварійний період їх напруга щодо землі [95].

Схема занулення вимагає наявності в мережі нульового захисного провідника, глухого заземлення нейтралі джерела і повторного заземлення нульового захисного провідника. Призначення нульового захисного провідника в схемі занулення - забезпечення необхідного для відключення установки значення струму однофазного короткого замикання шляхом створення для цього струму ланцюга з малим опором [95].

Призначення заземлення нейтралі в мережі до 1000 В - зниження напруги занулених корпусів (а отже, нульового захисного провідника) щодо землі до безпечної напруги при замиканні фази на землю. Повторне заземлення нульового провідника значно зменшує небезпеку ураження струмом, що виникає в результаті обриву нульового захисного провідника, але не може усунути її повністю, тому що не може забезпечити ті умови безпеки, які існували до обриву [95].

5.5.3 Засоби безпеки при роботі з газовими балонами

До роботи з газовими балонами повинні бути допущені особи, які пройшли навчання і мають відповідне посвідчення. Не допускається робота з несправними балонами, а також з балонами, що мають минулий термін зберігання, за винятком зливу балонів при негерметичності газового арматурного блоку або інших фітингів [96].

Заправка і установка балонів не допускається поблизу відкритого вогню, що працюють електроприладів і автомобілів, а також забороняється куріння. Балони при заправці і зливі повинні бути встановлені на заземлену поверхню. Обов'язкова наявність справного вогнегасника [96].

Обслуговуючий персонал повинен мати одяг з неплавлячої тканини, мати на руках рукавички або рукавиці. Відстань до осіб, не пов'язаних з заправкою або монтажем, а також до найближчих автомобілів, причепів, аеростатів і ін. Повинно бути не менше 15 метрів [96].

Категорично забороняється заправка балонів понад 85% загального обсягу. Контроль здійснюється по початку виходу рідкої фази з ніпеля [96].

В іншому, що не передбачено в цьому розділі в частині заправки і перевірки балонів, необхідно керуватися місцевими правилами [96].

Заправка газових балонів має здійснюватися поза приміщеннями на спеціально обладнаних станціях [96].

Злив (перелив) газу слід проводити на відкритій, добре продувається майданчику [96].

В процесі робіт слід керуватися вимогами заходів безпеки, крім цього необхідно, щоб з підвітряного боку на відстані 100 м при переливу і 500 м при зливі не було людей, будівель, домашнього худоби, ліній електро- і телеграфних передач, будь-яких непродуваємих заглиблень, здатних накопичувати газ, автомобільних і залізничних магістралей [96].

Заправлені або частково заправлені балони повинні зберігатися вертикально під навісом, обгородженим сіткою або іншим способом, при цьому площа, через яку може вільно проходити повітря, не повинна бути менше 25%

від площі всього огорожі і розташовуватися рівномірно або в нижній частині огорожі. На місці зберігання повинні знаходитися справні вогнегасники [96].

В одному місці повинно зберігатися не більше 200 балонів. Відстань від місця зберігання балонів до інших місць зберігання газу не менше 5 м, до будівель і споруд не менше 15 м [96].

Навіс повинен забезпечувати захист від прямої сонячної радіації і прямого впливу опадів [96].

Спільне зберігання справних і несправних балонів, а також балонів з простроченим терміном технічного опосвідчення не допускається [96].

При зберіганні на балонах повинні бути закриті всі вентиля і встановлені заглушки [96].

5.6 Охорона навколишнього середовища

Охорона навколишнього середовища на підприємстві характеризується комплексом вжитих заходів, які спрямовані на попередження негативного впливу людської діяльності підприємства на навколишню природу, що забезпечує сприятливі та безпечні умови людської життєдіяльності [97].

З огляду на стрімкий розвиток науково-технічного прогресу, перед людством постало складне завдання - охорона найважливіших складових навколишнього середовища (земля, вода, повітря), схильних до сильнішого забруднення техногенними відходами і викидами, що призводить до окислення ґрунту і води, руйнування озонового шару землі та кліматичних змін [97].

Промислова політика усього світу призвела до таких незворотних і суттєвих змін у навколишньому середовищі, що це питання (охорона навколишнього середовища на підприємстві) став загальносвітовою проблемою і примусив державні апарати розробити довгострокову екологічну політику зі створення внутрішньодержавного контролю за станом навколишнього середовища [97].

На законодавчому рівні на сьогодні, відсутні обов'язкові до виконання нормативні документи з вимогами до «Системи управління охороною навколишнього середовища підприємства».

Зазвичай, у разі перевірки контролюючим органам досить того, що на підприємстві є відповідальна особа (або екологічна служба), яка забезпечує виконання вимог природоохоронного законодавства та раціонального використання природних ресурсів при веденні виробничої діяльності на основному виробництві [98].

Основні обов'язки відповідальної особи підприємства в сфері управління охороною навколишнього середовища [98]:

- розробляє проекти перспективних і річних планів і заходів з охорони навколишнього середовища і контролює їх виконання, аналізує результативність та ефективність впроваджених природоохоронних заходів;

- розробляє необхідну документацію для отримання дозвільних документів і отримує дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферу, на спеціальне водокористування (при необхідності), на розміщення відходів [98];

- здійснює контроль за виконанням вимог дозвільних документів в сфері охорони навколишнього середовища [98];

- розробляє внутрішню нормативну документацію для дотримання вимог з охорони навколишнього середовища [98];

- розробляє або погоджує технічні завдання, завдання на проектування, інвестиційні картки на природоохоронні об'єкти, розділи ОВНС проектів;

- виявляє екологічні ризики в галузі охорони навколишнього середовища, розробляє і контролює реалізацію заходів з управління істотними екологічними ризиками [98];

- супроводжує контролюючі органи при проведенні перевірок, аналізує видані приписи, претензії та штрафні санкції контролюючих органів, забезпечує усунення зауважень за приписами контролюючих органів [98];

- проводить перевірки відповідності об'єктів підприємства вимогам природоохоронного законодавства і видає, в межах своєї компетенції,

розпорядження для усунення виявлених порушень, контролює усунення порушень [98];

- проводить навчання та інструктажі працівників підприємства і підрядників, які виконують роботи на об'єктах підприємства для мінімізації впливу на навколишнє середовище [98];

- контролює ведення первинного обліку даних за типовими формами в галузі поводження з відходами, в сферах атмосферного повітря, водоспоживання та водовідведення [98];

- ініціює та супроводжує укладання договорів природоохоронного значення по підприємству, здійснює контроль за їх виконанням, своєчасним оформленням розрахункових і звітних документів [98];

- розробляє графіки аналітичного контролю викидів в атмосферу від стаціонарних джерел, скидання господарсько-побутових стоків і відповідає за їх виконання, забезпечує проведення моніторингу та аналізує дотримання встановлених нормативів [98].

Екологічне управління корисне, як для навколишнього середовища, так і для підприємства. В цьому напрямку давно вже рухається світове співтовариство. Щоб запобігти впливу, або зменшити вплив підприємства на навколишнє середовище, можливо застосовувати вимоги Європейських стандартів [98]:

- ДСТУ ISO 14001 діє до: 2015 Системи екологічного керування. Вимоги та настанови щодо застосовування (ISO 14001: 2015 року, IDT);

- ДСТУ ISO 14004 до: 2016 Системи екологічного керування. Загальне керівництво по впровадженні (ISO 14004 до: 2016, IDT).

Висновки

Охорона праці – система збереження життя, здоров'я і працездатності працівників у процесі трудової діяльності, що включає в себе правові, соціально-економічні, організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні, лікувально-профілактичні, реабілітаційні та інші заходи.

Головним законом України в сфері охорони праці є Закон України «Про охорону праці».

Термічна обробка металів передбачає гартування, нормалізацію, відпал і відпуск, при яких існує небезпека опіків працюють у нагрівальних печей і гартівних ваннах.

Крім того, при використанні електричних нагрівальних печей і постів існує небезпека ураження електричним струмом. Тому при обслуговуванні електричних нагрівальних установок необхідно дотримуватись заходів електробезпеки.

До виконання технологічних процесів термічної і хіміко-термічної обробки металів не допускаються особи молодше 18 років. Всі працівники термічних цехів повинні піддаватися попередньому (під час вступу на роботу), а потім періодичним медичним оглядам згідно з чинним законодавством.

Всі працівники термічних цехів повинні проходити навчання безпеки праці відповідно до ГОСТ 12.0.004.

Безпечна експлуатація установки магнетронного напилення включає в себе наступні аспекти:

- пожежна безпека;
- електробезпека;
- засоби безпеки при роботі з газовими балонами.

ВИСНОВКИ

1. В магістерській кваліфікаційній роботі було проведено дослідження властивостей сталі 12X18H9T після нанесення захисних нітридних покриттів методом магнетронного напилення. Дана сталь є нержавіючою хромонікельтитановою сталлю аустенітного класу. Вона широко використовується в усіх галузях промисловості, зокрема для виготовлення металоконструкцій при роботі в агресивних середовищах. Вироби виготовлені з цієї сталі мають гарні міцнісні характеристики протягом довгого часу.

2. Було проведено ретельний огляд літератури, статей і патентів, на основі якого можна зробити висновки що до доцільності нанесення захисних покриттів для підвищення міцнісних характеристик сталі, які забезпечують високу надійність та продуктивність виробам, тим самим гарантуючи підвищення якості виробів та зниження витрат на матеріали.

3. Проведені дослідження показали, що попередня іонна обробка сталевий підкладки титаном Ti істотно впливає на структуру і механічні властивості покриттів TiAlN. Бомбардування підкладки іонами Ti призводить до модифікації її поверхневого шару і формування на ній тонкої плівки Ti, яка трансформується в TiN після заповнення робочої камери азотом. Утворення даної плівки, а також істотне підвищення температури підкладки після її іонної обробки викликають збільшення дифузійної рухливості атомів і сприяють епітаксійних росту стовпчастих зерен з прямими межами.

5. Зміна характеру зростання призводить не тільки до зміни структури покриттів, але і до релаксації в них внутрішніх напружень. Це забезпечує підвищення твердості покриттів TiAlN в 1,3 рази в порівнянні з покриттями, нанесеними на необроблену підкладку.

6. Проведені розрахунки економічної ефективності та розрахунок собівартості нанесення покриттів типу TiN та TiAlN, показали, що економічно вигіднішим є нанесення покриттів типу TiN за рахунок скорочення часу процесу та матеріалів, відповідно, скорочення витрат на виплату заробітної плати працівнику. Але введення алюмінію в покриття на основі нітриду титану

призводить до підвищення корозійної стійкості, забезпечує підвищення твердості та зносостійкості сталі 12Х18Н9Т.

7. У роботі проаналізовано небезпечні та шкідливі фактори на дільницях, де проводиться термічна обробка металів та сплавів, розглянуті можливі аварійні ситуації при роботі з обладнанням в термічних дільницях та заходи безпеки по запобіганню вибухо- та пожежне безпечних ситуацій. Розглянуті правила поведінки працюючих в термічних цехах та техніка безпеки при експлуатації печей. Розглянуто техніку безпеки при роботі з устаткування для проведення процесу магнетронного напилення (установкою ВУП-5М), заходи що до захисту навколишнього середовища від шкідливих викидів та відходів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сивенков, А.В. Технология способа ВТДО / А.В. Сивенков // Материаловедение, пластическая и термическая обработка металлов: Материалы научно-практического информационно-консультационного семинара. - СПб. : Политехника, 2001. - С. 40-41.
2. Сивенков, А.В. Нанесение никелевых покрытий способом ВТДО / А.В. Сивенков, Е.И. Пряхин // Современные металлические материалы и технологии и их использование в технике : материалы международной научно-технической конференции. - СПб.: СПбГТУ, 2001. - С. 180-182.
3. Сивенков, А.В. Применение флюсов в технологии ВТДО / А.В. Сивенков // Материалы научной конференции. Часть 1. - СПб.: СЗТУ, 2003. - С. 120-124.
4. Сивенков, А.В. Механические свойства сталей с диффузионными никелевыми покрытиями, нанесенными способом ВТДО / А.В. Сивенков // Материаловедение, пластическая и термическая обработка металлов : Материалы научно-практического информационно-консультационного семинара СПбГТУ. -СПб.: «Борей-Арт», 2004. - С.102-106.
5. Сивенков, А.В. Оценка эффективности метода нанесения покрытий из среды легкоплавких расплавов / А.В. Сивенков // Сборник научных трудов. - СПб. : СЗТУ, 2005. - С. 287-290.
6. Сивенков, А.В. Нанесение защитных покрытий на детали машиностроения способом ВТДО из среды легкоплавких расплавов / А.В. Сивенков // Проблемы машиноведения и машиностроения. Межвуз. сб. Выпуск 37. - СПб. : СЗТУ, 2007. - С. 242-255.
7. Сивенков, А.В. Коррозия и коррозионно-стойкие покрытия: учебно-методический комплекс / сост. А.В. Сивенков. - СПб.: Изд-во СЗТУ, 2009. - 142 с.
8. Соколов, А.Г. Повышение коррозионно-механических свойств стали за счет термодиффузионных покрытий / А.Г. Соколов, Т.И. Иванова, А.В. Сивенков // Перспективные способы наплавки коррозионными и

износостойкими материалами: материалы научно-технического семинара / под ред. Ю.М. Белова, А.М. Левченко. - Л. : ЛДНТП, 1987. - С. 43-47.

9. Сивенков, А.В. Исследование свойств никелевых покрытий, нанесенных из легкоплавких расплавов / А.В. Сивенков // Научно-технические ведомости СПбГПУ. - 2009. - №3 (84). - С. 119-123.

10. Монографія; В.І. Нікітін; 2017.-756 с.

11. Патент «Спосіб термічної обробки нержавіючих сталей аустенітного класу», 2001, с.2.

12. K.H. Lo, C.H. Shek, J.K.L. Lai. Recent developments in stainless steels // Materials Science and Engineering R 65 (2009) С. 39–104.

13. М.В. Костина, О.А. Банных, С.О. Мурадян. Разработка новой литейной высококоррозионно стойкой и высокопрочной аустенитной стали. Анализ свойств известных коррозионностойких литейных сталей. М., Заготовительные производства в машиностроении, 2011, №3, С. 31-38.

14. Роговский А.Н., Петков Р. / К вопросу о ликвации легирующих элементов в структуре однофазной аустенитной стали / on the problem of liquation of alloying elements in the structure of single-phase austenitic steel, scopus journal of chemical technology and metallurgy, 50, 6, 2015, 581-584.- С. 581-584.

15. Chih-Chun Hsieh and Weite Wu, "Overview of Intermetallic Sigma (σ) Phase Precipitation in Stainless Steels," ISRN Metallurgy, vol. 2012, Article ID 732471, 16 pages, 2012.

16. G. Sasikala, S.K. Ray, S.L. Mannan. Kinetics of transformation of delta ferrite during creep in a type 316(N) stainless steel weld metal // Materials Science and Engineering: A vol. 359 issue 1-2 October 25, 2003. p. 86 – 90.

17. Александров В.А., Д. С. Фатюхин Изучение влияния кавитационной эрозии на деформацию и разрушение изделий из стали // Деформация и разрушение материалов 2012. №10. С. 38-40.

18. Александров В. А. / Комбинированный технологический способ ХТО для поверхностного упрочнения сталей // Металловедение и термическая обработка металлов. 2010. №5. С. 27-31.

19. В. А. Александров, С. И. Барабанов / Перспективы развития химико-термической обработки сталей: наукова стаття, теория – эксперимент – технологии // М.: МАДИ, 2011. С. 27-34;

20. Коротков В.А. Исследование процесса кабонитрации. // Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2014. № 8. С.11-14.

21. Витяг з наукової статті: «Упрочнение рабочих органов машин путем плазменной обработки» Волокитин Г.Г., Клопотов А.А., Старенченко В.А., Чумаевский А.В., Джалолов Ш.А. 2007. 3 с.;

22. Акопов Е.Ю. / Обоснование и выбор методов повышения ресурса погружных центробежных насосов: диссертация кандидата технических наук. ФГАОУВПО. 05.05.2006. – 165 с.

23. Б.Н. Арзамасов, В.А. Брострем, Н.А. Буше и др. / Конструкционные материалы.; / Справочник/ М. Машиностроение, 1990. – 688 с.

24. Freeman J. W., Comstock G. F. a. White A. F. Trans. ASME, v.74, 2002, – p. 793.

25. Козлов П.А. / Исследование влияния легирования на фазовый состав и свойства жаропрочных хромистых сталей для элементов теплоэнергетического оборудования // Канд дис., Москва, 2012, 140 с.

26. Л.Г. Ворошнин, М.М. Абачараев, Б.М. Хусид. / Кавитационностойкие покрытия на железоуглеродистых сплавах / – Минск: Наука и техника, 1986. – 248 с.

27. Ворошнин, Л.Г. Теория и технология химико-термической обработки: учеб. пособие – Минск: Новое знание, 2010. – 304 с.

28. Металловедение. Термическая и химико-термическая обработка сплавов: сб. науч. трудов / под ред. Б.Н. Арзамасова. – М.: Изд-во МГТУ, 2003. – 246 с.

29. Г.Боровський, С. Григорьев, С. Молодик /дисертація: «Гідронепроникні PVD-покриття», , 2015., С.;

30. Швецов, В. Л., Ковальский, А. Э., Картмазов, Г. Н., Солодов, Валерий Григорьевич, Кожешкурт, И. И., Конев, В. А. /Комбинированная

противоэрозионная защита рабочих лопаток последних ступеней мощных паровых турбин, / 2014. – С. 11-20;

31. Электродные материалы, композиционные и многослойные электроискровые покрытия из сплавов систем Ni-Cr, WC-Co и металлов [Электронный ресурс] / В. Б. Тарельник, А. В. Паустовский, Ю. Г. Ткаченко [и др.] // Порошковая металлургия. – Киев : ИМ им. И. М. Францевича НАН Украины, 2016. - №09/10. С.100-115.

32. Квасников М.Ю., Камедчиков А.В., Уткина И.Ф., Герасимов Ю.В., Крылова И.А., Киселёв М.Р., Точилкина В.С. /Новые лакокрасочные композиции для электроосаждения//Лакокрасочные материалы и их применение., 2010. №8. С. 38-43.

33. Волков А.В., Панкратов С.Н., ЧЕРНЫШЕВ С.А. Повышение эксплуатационных качеств центробежных насосов на основе применения фторопластовых покрытий., 2008. – 206с.

34. Гарматюк Р.Т., Чихіра І.В. // Наукова стаття «Полімеркомпозиційні покриття для захисту деталей відцентрових насосів», 2015. – С. 68-71.

35. Дисертація на тему: «Методи підвищення стійкості електроцентробіжних насосів при перекачуванні рідини» Минеев А.В., Булчаев Н.Д., 2010. - 121 с.

36. Карпенко Г.В. Влияние среды на прочность и долговечность металлов. Киев.: Наукова думка, 1976. 127 с.

37. Нечаев Ю.С. Физические комплексные проблемы старения, охрупчивания и разрушения металлических материалов водородной энергетики и магистральных газопроводов // Успехи физических наук. 2008. Т. 178. № 7. С. 709-726.

38. Зеленко В.К., Сергеев Н.Н., Извольский В.В., Власов В.М. Физико-механические и эксплуатационные свойства защитных покрытий. Тула: Изд-во ТГПУ им. Л.Н. Толстого, 1999. 213 с.

39. Петров Л.Н., Сопрунюк Н.Г. Коррозионно-механическое разрушение металлов и сплавов.; отв. ред. АН Украины Р.К. Мелехов. Киев: Наукова думка, 1991. 216 с.

40. Исследование влияния легирования на механические и коррозионные свойства арматурного проката / Н.Н. Сергеев, А.Н. Сергеев, А.Е. Гвоздев, А.Н. Чуканов, С.Н. Кутепов, О.В. Пантюхин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2018. Вып. 7. С. 117-131.

41. Кутепов С.Н. Исследование влияния толщины покрытия и уровня растягивающих напряжений на коррозионную стойкость // Сб. трудов XV Российской ежегодной конференции молодых научных сотрудников и аспирантов «Физико-химия и технология неорганических материалов». (16–19 октября 2018, Москва). М.: ИМЕТ РАН, 2018. С. 401-403.

42. Djomeni L., Mourier T., Minoret S., Fadloum S., Piallat F., Burgess S., Price A., Zhou Y., Jones C., Mathiot D., Maitrejean S. // *Microelectron. Eng.* 2014. Vol. 120. P. 127– 132.

43. Selvakumar N., Barshilla H.C. // *Sol. Energy Mater. Sol. Cells.* 2012. Vol. 98. P. 1–23.

44. Liu W., Hu H., Pu N., Liang S. // *J. Alloys Comp.* 2015. Vol. 631. P. 146–152.

45. McIntyre D., Green J.E., Hakansson G., Sundgren J.-E., Munz W.-D. // *J. Appl. Phys.* 1990. Vol. 67. N 3. P. 1542– 1553.

46. Kawate M., Hashimoto A.K., Suzuki T. // *Surf. Coat. Technol.* 2003. Vol. 165. N 2. P. 163–167.

47. Roos J.R., Celis J.P., Vancoille E., Veltrop H., Boelens S., Jungblut F., Ebberink J., Homberg H. // *Thin Solid Films.* 1990. Vol. 193–194. P. 547–556.

48. PalDey S., Deevi S.C. // *Mater. Sci. Eng. A.* 2003. Vol. 342. P. 58–79.

49. Табаков В.П., Чихранов А.В. Износостойкие покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания. Ульяновск: УЛГТУ, 2007. 255 с.

50. Liu Z.-J., Shum P.W., Shen Y.G. // *Thin Solid Films.* 2004. Vol. 468. N 1–2. P. 161–166.

51. Grossmann B. et al. High-temperature tribology and oxidation of $Ti_{1-x-y}Al_xTa_yN$ hard coatings // *Surface and Coatings Technology.* – 2018. – Т. 342. – С. 190-197.

52. Koller C. M. et al. Thermal stability and oxidation resistance of arc evaporated TiAlN, TaAlN, TiAlTaN, and TiAlN/TaAlN coatings // *Surface and Coatings Technology*. – 2014. – Т. 259. – С. 299-607.

53. Seidl W. M. et al. Improved mechanical properties, thermal stabilities, and oxidation resistance of arc evaporated Ti-Al-N coatings through alloying with Ta // *Surface and Coatings Technology*. – 2018. – Т. 344. – С. 244-249.

54. Sui Xudong et al. Effect of Ta content on microstructure, hardness and oxidation resistance of TiAlTaN coatings // *Int. Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. - 2016. – Т. 58. – С. 152-156.

55. Sui Xudong et al. Improved surface quality of layered architecture TiAlTaN/Ta coatings for high precision micromachining // *Surface and Coatings Technology*. – 2017. – Т. 320. – С. 298-303.

56. Rachbauer R. et al. Increased thermal stability of Ti–Al–N thin films by Ta alloying // *Surface and Coatings Technology*. – 2012. – Т. 211. – С. 98-103.

57. Hollerweger R. et al. Origin of high temperature oxidation resistance of Ti-Al-Ta-N coatings // *Surface and Coatings Technology*. – 2014. – Т. 257. – С. 78-86.

58. Береснев В.М., Борушко М.С., Бурахович И.А. и др. Плазменная конденсация нитрида титана на сталь // *Электронная обработка материалов*. – 2015. № 3. С. 30 -33.

59. Мрочек Ж.А., Эйзнер Б.А. Иванов И.А., и др. О некоторых особенностях вакуумного электродугового нанесения покрытий из сплава Ti – Si в среде азота // *Электронная обработка материалов*. –2005. – № 1. – С. 13 - 14.

60. Freller Y., Haessler H. Evaluation of existing ion plating processes for the deposition of multicomponent hard coatings// *Surface and coatings Technology*. – 2004. – № 36.– P. 219 - 232.

61. Мьнз W.-D. Titanium aluminum nitride films: A new alternative to TiN coatings//*J. Vac. Sci. Technol.* – 2004. – Vol. A 4. – P. 2717-2725.

62. Knotek O., Вцнmer M. and Leyendecker T. On structure and properties of sputtered Ti and Al based hard compound films//*J. Vac. Sci. Technol.* – 2004. – Vol. A 4. – P. 2695-2700.

63. Jehn H., Hofmann S., Rьckborn V., Mьnz W.-D. Morphology and properties of sputtered (Ti, Al)N layers on high speed steel substrates as a function of deposition temperature and sputtering atmosphere//J. Vac. Sci. Technol. – 2004. – Vol. A 4. – P. 2701-2705.

64. Freller H., Haessler H. Tix Al1-x N films deposited by ion plating with an arc evaporator//Thin Solid Films. – 2004. – Vol. 153. – P. 67-74.

65. Mukherjee S., Prokert F., Richter E., Mьller W. Comparison of TiN and Ti1-xAlx N coatings deposited on Al using plasma immersion ion implantation assisted deposition//Surf. Coat. Technol. – 2005. – Vol. 200. – P. 2459-2464.

66. Song, J., Kim, H.R., Park, J., Jeong, S., and Hwang, C.S., Oxidation behavior of TiAlN barrier layers with and without thin metal overlayers for memory capacitor applications, J. Mater. Res., 2002, vol. 17, no. 7, P. 1789–1794.

67. Chim, Y.C., Ding, X.Z., Zeng, X.T., and Zhang, S., Oxidation resistance of TiN, CrN, TiAlN and CrAlN coatings deposited by lateral rotating cathode arc, Thin Solid Films, 2009, vol. 517, P. 4845–4849.

68. Tabakov, V.P. and Chikhranov, A.V., Iznosostoikie pokrytiya rezhushchego instrumenta, rabotayushchego v usloviyakh nepreryvnogo rezaniya (Wear Resistant Coating of Cutting Tools Worked in Continuous Cutting Condition), Ulyanovsk: Ulyanovsk. Gos. Tekh. Univ., 2007.

69. Сорокин В.Г. Марочник сталей и сплавов/ В.Г. Сорокин, А.В. Волосникова, С.А. Вяткин и др.; Под общей редакцией В.Г. Сорокина.- М., Машиностроение – 1989. – 640 с.

70. Руденко Л.Ф. Леговані сталі та сплави : навч. посіб. / Л. Ф. Руденко, Т. П. Говорун. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 171 с.

71. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт із дисципліни «Механічні властивості та конструкційна міцність матеріалів» : у 2 частинах. Ч. 1. Випробування металів / укладачі: А.І. Дегула, Т.П. Говорун. – Суми : Сумський державний університет, 2015. – 53 с.

72. Лабораторний практикум з курсу «Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство». Частина 2 «Матеріалознавство» / укладачі

Т.П. Говорун, О.П. Гапонова, В.М. Раб, Н.А. Харченко. – Суми: Сумський державний університет, 2011. – 86 с.

73. Кузьмичев А. И. Магнетронные распылительные системы / А. И. Кузьмичев. Кн. 1 : Введение в физику и технику магнетронного распыления / дар. А. И. Кузьмичев. — Киев : Аверс, 2008. — 244 с.

74. Рогов, А.В. Факторы, определяющие эффективность магнетронного распыления. Критерии оптимизации / А.В. Рогов, Ю.В. Капустин, Ю.В. Мартыненко // ЖТФ. - 2015. - Том 85, вып. 2. - С. 126 - 134.

75. Вареник, С.В. Вибір матеріалу, маршрутної технології виготовлення заготовки і термічної обробки деталі «робоче колесо» [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра; спец.: 6.050403 – інженерне матеріалознавство / С.В. Вареник; наук. керівник Т.П. Говорун. - Суми: СумДУ, 2019. - 74 с.

76. Djomeni L., Mourier T., Minoret S., Fadloun S., Piallat F., Burgess S., Price A., Zhou Y., Jones C., Mathiot D., Maitrejean S. // Microelectron. Eng. 2014. Vol. 120. P. 127 – 132.

77. Selvakumar N., Barshilla H.C. // Sol. Energy Mater. Sol. Cells. 2012. Vol. 98. P. 1–23.

78. Wang D., Chiu M. // Surf. Coat. Technol. 2002. Vol. 156. N 1–3. P. 201–207.

79. Chim Y., Ding X., Zeng X., Zhang S. // Thin Solid Films. 2009. Vol. 517. P. 4845–4849.

80. Васильев В.В., Коваленко В.И., Лучанинов А.А. и др. Механические свойства и эрозионная стойкость вакуумно-дуговых покрытий (Ti, Al)N, модифицированных иттрием // ВАНТ. - 2011. – Т. 98, № 4. – С. 160-164.

81. PalDey S., Deevi S.C. // Mater. Sci. Eng. A. 2003. Vol. 342. P. 58–79.

82. Beckers M., Hцglund C., Baecht C. et al. The influence of substrate temperature and Al mobility on the microstructural evolution of magnetron sputtered ternary Ti-Al-N thin films // J. Appl. Phys. – 2009. – Vol. 106, – P. 064915.

83. Komarov, F. F. Formation of nanostructured TiAlN, TiCrN, and TiSiN coatings using reactive magnetron sputtering / F. F. Komarov, S. V. Konstantinov, V. V. Pilko // Journal of Friction and Wear, 2014. – Vol. 35. – № 3. – pp. 215–223.

84. Carvalho S., Ribeiro E., Rebouta L., Pascaud J., Goudeau Ph., Renault P.O., Riviere J.P., Tavares C.J. // Surf. Coat. Technol. 2003. Vol. 172. P. 109–116.

85. Табаков В.П., Чихранов А.В. Износостойкие покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания. Ульяновск: УЛГТУ, 2007. 255 с

86. Shum P.W., Li K.Y., Shen Y.G. // Surf. Coat. Technol. 2005. Vol. 198. N 1–3. P. 414–419.

87. Панин А.В., Казаченок М.С., Шугуров А.Р., Сергеев В.П. // ЖТФ. 2012. Т. 15. № 6. С. 44–52.

88. Шуров АР, Алиннии А А. Панин А В, Сергеев ВП. Модификация структуры покрытий TiAlN путем предварительной бомбардировки стальной подложки ионами Ti // ЖТФ. - 2016. Т 86, №3, С. 91-97.

89. Кондратьева М.Н. Экономика предприятия : учебное пособие / М. Н. Кондратьева, Е.В. Баландина. – Ульяновск : УЛГТУ, 2011. – 174 с.

90. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи Охорони праці: Підруч. для студ. вищих навч. закл. За ред. М.П. Гандзюка. - К.: Каравела; Львів: Новий Світ-2000, 2003. - 408 с.

91. Закон України «Про охорону праці» № 2695-ХІІ від 14.10.2002 р.

92. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці / В. Ц. Жидецький. – Львів: Афіша, 2002. – 318 с.

93. НПАОП 28.5-1.02-07 Правила охорони праці при термічній обробці металів. Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. Наказ 18.12.2007 N 315. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 28 січня 2008 р. за № 66/14757.

94. Design, plasma studies, and ion assisted thin film growth in an unbalanced dual target magnetron sputtering system with a solenoid coil / Engstrom C., Berlind T., Birch J. et al. // Vacuum, V. 56, 2000, p.107-113.

95. Pulsed magnetron sputter technology / Schiller S., Goedicke K., Reschke J. et al. // Surf. and Coat. Technol., V.61, 2009, p. 331-337.

96. Reactive pulsed magnetron sputtering process for alumina films / Kelly P.J., Henderson P.S., Arnell R.D. et al. // J.Vac.Sci.Technol., V. 18, № 6, 2000, p.2890-2896.

97. СанПіН 2.1.6.1032-01. «Гігієнічні вимоги до якості атмосферного повітря».

98. Охорона праці : Навч. посіб. / Я. І. Бедрій, Є. О. Геврик, І. Я. Кіт, О. С. Мурін, В. М. Єнкало; ред.: Є. О. Геврик; Укр. держ. лісотехн. ун-т. - Л., 2000. - 280 с. - Бібліогр.: с. 277-279.